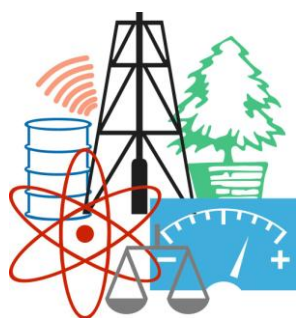


WASTE FORUM



RECENZOVANÝ ČASOPIS PRO VÝSLEDKY VÝZKUMU A VÝVOJE
PRO ODPADOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

ROČNÍK 2014

číslo 3
strana 111 – 147

Patron čísla

CEMC ETV CZ

***jediný akreditační orgán v ČR a SR
pro ověřování inovativnosti environmentálních technologií
a dalších technologií přínosných pro životní prostředí***

OBSAH

Úvodní slovo šéfredaktora	113
Pro autory	113
Prognóza produkce komunálních odpadů do roku 2024	114
Prognosis of municipal waste production until 2024 <i>Jiří KALINA, Jiří HŘEBÍČEK, Gabriela BULKOVÁ</i>	
Biogas system and possibilities of control and use of digestate in Czech Republic	123
Bioplynový systém a možnosti kontroly a využití digestátu v České republice: Review <i>Lukáš KUČERA, Petr BEDNÁŘ</i>	
Odpad z výroby minerální vlny a možnosti jeho využití do betonové směsi	137
Waste from mineral wool production and possibilities of its utilization in concrete mixture <i>Ivana CHROMKOVÁ, Pavel LEBER, Oldřich SVITÁK</i>	
Český inovační trh má větší šanci obstát v celosvětové konkurenci	144
<i>Evžen ONDRÁČEK</i>	
Podpora VaVal v Programu předcházení vzniku odpadů ČR	146
<i>Ondřej PROCHÁZKA, Evžen ONDRÁČEK</i>	
Symposium ODPADOVÉ FÓRUM 2015 již v březnu!	147
<i>Ondřej PROCHÁZKA</i>	

WASTE FORUM – recenzovaný časopis pro výsledky výzkumu a vývoje pro odpadové hospodářství

ISSN: 1804-0195; www.WasteForum.cz. Vychází čtvrtletně.

Časopis je na Seznamu neimpektovaných recenzovaných periodik vydávaných v ČR.

Ročník 2014, číslo 3

Vydavatel: CEMC – České ekologické manažerské centrum, IČO: 45249741, www.cemc.cz

Adresa redakce: CEMC, ul. 28. pluku 25, 100 00 Praha 10, ČR, fax: +420/274 775 869

Šéfredaktor: Ing. Ondřej Procházka, CSc., tel.: +420/274 784 448, 723 950 237, e-mail: prochazka@cemc.cz

Redakční rada: Prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D., prof. Ing. František Kaštánek, CSc., prof. Ing. Mečislav Kuraš, CSc.,
prof. Ing. Tomáš Havlík, DrSc., doc. RNDr. Jana Kotovicová, Ph.D., doc. Ing. Vladimír Čablík, CSc.,
doc. Dr. Ing. Martin Kubal, doc. Ing. Lubomír Růžek, CSc., doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.,
doc. Ing. Vratislav Bednařík, Ph.D.

Web-master: Ing. Vladimír Študent

Redakční uzávěrka: 8. 7. 2013. **Vychází:** 9. 9. 2014



Úvodní slovo šéfredaktora

Krise časopisu WASTE FORUM pokračuje! Nebýt dvou příspěvků ze symposia ODPADOVÉ FÓRUM 2014, které členové redakční rady doporučili k uveřejnění v tomto časopisu, nebylo by do tohoto čísla skoro co dát!

K datu redakční uzávěrky přišly do redakce tři příspěvky a z toho dva jsem musel na základě vyjádření recenzentů odmítnout nebo vrátit k přepracování. Dumám, jestli se opravdu tak snížila kvalita prací zasílaných k publikování v tomto časopise, či zda měli autoři jen „smůlu“ na přísné či poctivé recenzenty. Že se celkově jedná o důsledek nové politiky bodování výstupů naší vědy, je nesporné.

V březnu jsem členům redakční rady položil dvě základní otázky: Jestli má za této situace tento časopis ještě smysl, když publikující nemají za článek v něm ani zlomek bodu a potom Co mohou pro zlepšení situace časopisu sami udělat.

Zatímco odpověď na první otázku byla jednoznačně kladná, odpovědi na druhou otázku mne příliš nepovzbudily. Ještě uvidíme, co vyplyne z jednání redakční rady, které míním svolat na podzim.

Jinak řešitelům prakticky zaměřených výzkumných projektů s konkrétním výstupem radím, ať věnují pozornost příspěvku na straně 144 (Český inovační trh má větší šanci obstát v celosvětové konkurenci). Ti, kteří hledají nová výzkumná témata, by mohli zase nalézt inspiraci v příspěvku na straně 146 (Podpora VaVal v Programu předcházení vzniku odpadů ČR). A všechny zveme na Týden výzkumu a inovací pro praxi 2015, v jehož rámci se bude konat jubilejní 10. ročník česko-slovenského symposia Výsledky výzkumu a vývoje pro odpadové hospodářství ODPADOVÉ FÓRUM 2015. Jen upozorňuji, že jeho termín byl posunut o měsíc dopředu na 18. – 20. 3. 2015 (více na straně 147 nebo na www.tvip.cz).

Ondřej Procházka

Pro autory

Do redakce se příspěvky zasílají v kompletně zalomené podobě i se zabudovanými obrázky a tabulkami, tak zvané „**printer-ready**“. Pokyny k obsahovému členění a grafické úpravě příspěvků spolu s přímo použitelnou **šablonou grafické úpravy** ve WORDu jsou uvedeny na www-stránkách časopisu www.WasteForum.cz v sekci **Pro autory**. Ve snaze dále rozšiřovat okruh možných recenzentů žádáme autory, aby současně s příspěvkem napsali tři tipy na možné recenzenty, samozřejmě z jiných pracovišť než je autor či spoluautoři. Je vždy dobré mít rezervu.

Publikační jazyk je čeština, slovenština a angličtina, přičemž ve snaze, aby se časopis WASTE FORUM dostal do mezinárodních databází vědeckých časopisů, což je nezbytný předpoklad, aby mohl získat časem i impakt-faktor, je upřednostňována angličtina. V tomto případě však je nezbytnou součástí článku na konci název, kontakty a abstrakt v českém či slovenském jazyce, přičemž rozsah souhrnu není shora nijak omezen. U článků v českém či slovenském jazyce je samozřejmou součástí název, kontakty a souhrn v anglickém jazyce.

Uveřejnění příspěvků v časopisu WASTE FORUM je v zásadě bezplatné. Nicméně České ekologické manažerské centrum (CEMC) na vydávání časopisu WASTE FORUM nedostává žádnou podporu z veřejných zdrojů a tak, abychom příjmově pokryli alespoň nezbytné externí náklady spojené s vydáváním časopisu (poplatky za webhosting, softwarová podpora atd.), vybíráme symbolický poplatek za uveřejnění poděkování grantové agentuře či konstatování, že článek vznikl v rámci řešení určitého projektu. Tento poplatek činí 200 Kč za každou stránku u příspěvků v anglickém jazyce, u ostatních je tento ve výši 500 Kč za stránku.

Uzávěrka dalšího čísla časopisu WASTE FORUM je 8. října 2014, další pak 8. ledna 2015.

Prognóza produkce komunálních odpadů do roku 2024

Jiří KALINA¹⁾, Jiří HŘEBÍČEK¹⁾, Gabriela BULKOVÁ²⁾

¹⁾ Institut biostatistiky a analýz, Kamenice 126/3,
Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí, Kamenice 753/5,
Masarykova univerzita, 625 00 Brno,

e-mail: kalina@mail.muni.cz, hrebicek@iba.muni.cz

²⁾ Ministerstvo životního prostředí, Vršovická 1442/65, 100 00 Praha 10

e-mail: gabriela.bulkova@mzp.cz

Souhrn

V příspěvku je představena první část nového komplexního prognostického modelu vyvinutého pro modelování produkce a nakládání s komunálním odpadem (KO). Diskutovaný model byl vytvořen jako multidimenzionální lineární model produkce KO v jednotlivých obcích, který využívá na vstupu data o socioekonomických parametrech obcí a pro kalibraci pak vzorek dat z ročních hlášení 6 251 obcí České republiky o produkci a nakládání s KO. Popsaný matematický model přinesl nové nástroje na podporu rozhodování pro Ministerstvo životního prostředí ČR v oblasti odpadového hospodářství (např. národní zákonodárství, dotační management, budování nových zařízení atd.) a byl použit pro nový Plán odpadového hospodářství (POH) České republiky pro období 2015 – 2024.

Klíčová slova: Komunální odpad, modelování, prognóza, odpadové toky.

Úvod

V roce 2013 byla vypracována pro Ministerstvo životního prostředí (MŽP) prognóza produkce a nakládání s komunálním odpadem (KO) v ČR v desetiletém horizontu (do roku 2024), která vychází z vlastního výzkumu realizovaného na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity, konkrétně Institutu biostatistiky a analýz (IBA MU) a Centru pro výzkum toxických látek v prostředí (RECETOX MU) v letech 2008 – 2013 a z nového matematického modelu, který byl vytvořen na základě dlouhodobého výzkumu v oblasti modelování a analýz odpadového hospodářství na pracovištích IBA MU a RECETOX MU a byl dopracován na základě smlouvy mezi MŽP a IBA MU v roce 2013.

Součástí tohoto složitějšího modelu je mimo regresní modely a řešení nakládání s KO soustavou rovnic také multidimenzionální lineární model produkce KO, který bude představen samostatně v tomto příspěvku.

Model slouží k prognózování produkce a nakládání s KO ve členění podle následujících odpadových toků v období 2013 – 2024:

- 1) *komunální odpady celkem* (zkratka KO);
- 2) *směsný komunální odpad* (zkratka SKO);
- 3) *biologicky rozložitelné komunální odpady* (zkratka BRKO);
- 4) *materiálově využitelné složky komunálních odpadů* (zkratka MVO);
- 5) *nebezpečné složky komunálních odpadů* (zkratka NO KO).

Termínem *odpadový tok* je označována množina odpadů navzájem si blízkých svými fyzikálně-chemickými parametry nebo původem. Pro potřeby modelu jsou produkce v jednotlivých odpadových tocích definovány jako vážené průměry produkcí odpadových druhů, a to v členění pro komunální odpady podle Katalogu odpadů [1].

Vzhledem k tomu, že část požadovaných toků není legislativně definována, byly odpadové druhy pro agregaci do odpadových toků vybrány ve spolupráci s MŽP následovně (**tabulka 1**):

Tabulka 1: Agregace odpadových druhů do odpadových toků

Název toku dle zadání modelu	Agregované druhy odpadů - k. č. podle Katalogu odpadů [1]
komunální odpady (KO)	15 01 01, 15 01 02, 15 01 03, 15 01 04, 15 01 05, 15 01 06, 15 01 07, 15 01 09, 15 01 10, 15 01 11, 20 01 01, 20 01 02, 20 01 08, 20 01 10, 20 01 11, 20 01 13, 20 01 14, 20 01 15, 20 01 17, 20 01 19, 20 01 21, 20 01 23, 20 01 25, 20 01 26, 20 01 27, 20 01 28, 20 01 29, 20 01 30, 20 01 31, 20 01 32, 20 01 33, 20 01 34, 20 01 35, 20 01 36, 20 01 37, 20 01 38, 20 01 39, 20 01 40, 20 01 41, 20 01 99, 20 02 01, 20 02 02, 20 02 03, 20 03 01, 20 03 02, 20 03 03, 20 03 06, 20 03 07, 20 03 99
směsný komunální odpad (SKO)	20 03 01
biologicky rozložitelné komunální odpady (BRKO)	15 01 01, 20 01 01, 20 01 08, 20 01 10, 20 01 11, 20 01 38, 20 02 01, 20 03 01, 20 03 02, 20 03 03, 20 03 07
materiálově využitelné složky komunálních odpadů (MVO)	15 01 01, 15 01 02, 15 01 04, 15 01 05, 15 01 07, 15 01 09, 20 01 01, 20 01 02, 20 01 39, 20 01 40, 20 01 10, 20 01 11, 20 03 01
nebezpečné složky komunálních odpadů (NO KO)	20 01 13, 20 01 14, 20 01 15, 20 01 17, 20 01 19, 20 01 21, 20 01 23, 20 01 26, 20 01 27, 20 01 29, 20 01 31, 20 01 33, 20 01 35, 20 01 37

Dále byly ve spolupráci s MŽP identifikovány čtyři dílčí varianty pro prognózu produkce MVO v KO, pro něž byly zvoleny odlišné koeficienty v agregaci jednotlivých druhů MVO (**tabulka 2**):

- 1) MVO1, uvažující pouze materiálově využitelné druhy KO ze skupiny 20 a podskupiny 15 01 z odděleného sběru MVO v obcích,
- 2) MVO2, uvažující jednak materiálově využitelné druhy KO ze skupiny 20 a podskupiny 15 01 z odděleného sběru v obcích a 41,2 % materiálově využitelných složek z SKO (**tabulka 2**),
- 3) MVO3, zahrnující materiálově využitelné druhy KO ze skupiny 20 a podskupiny 15 01 z odděleného sběru v obcích a využitelný podíl materiálově využitelných složek v SKO, přičemž koeficienty u jednotlivých druhů KO byly sníženy v souvislosti s jejich znečištěním (např. mastný papír, znečištěné plasty, zašpiněné sklo a kovy apod.) nebo nevhodným designem výrobků (např. kombinované obaly, vícevrstvé plasty apod.) (**tabulka 2**),
- 4) MVO4, zahrnující materiálově využitelné druhy KO ze skupiny 20 a podskupiny 15 01 z odděleného sběru v obcích a využitelný podíl materiálově využitelných složek v SKO, přičemž koeficienty u jednotlivých druhů KO, které byly sníženy v souvislosti s jejich znečištěním nebo nevhodným designem výrobků, byly převzaty z MŽP.

Dle výše uvedených předpokladů jsou proto uvažovány následující koeficienty pro agregaci materiálově využitelných komunálních odpadů ve čtyřech variantách (**tabulka 2**):

Tabulka 2: Podílové koeficienty materiálově využitelných komunálních odpadů

Druh odpadu k. č.	Název	Varianta 1 MVO1	Varianta 2 MVO2	Varianta 3 MVO3	Varianta 4 MVO4
15 01 01	Papírové a lepenkové obaly	1,00	1,00	0,88	0,98
15 01 02	Plastové obaly	1,00	1,00	0,80	0,808
15 01 04	Kovové obaly	1,00	1,00	0,97	0,98
15 01 05	Kompozitní obaly	1,00	1,00	0,96	0,98
15 01 07	Skleněné obaly	1,00	1,00	0,94	0,977
15 01 09	Textilní obaly	1,00	1,00	0,50	0,50
20 01 01	Papír a lepenka	1,00	1,00	0,88	0,98
20 01 02	Sklo	1,00	1,00	0,94	0,977
20 01 10	Oděvy	1,00	1,00	0,50	0,50
20 01 11	Textilní materiály	1,00	1,00	0,50	0,50
20 01 39	Plasty	1,00	1,00	0,80	0,808
20 01 40	Kovy	1,00	1,00	0,97	0,98
20 03 01	Směsný komunální odpad	0,00	0,412	0,37	0,309

Model produkce komunálních odpadů

Model produkce komunálních odpadů vychází z principu multidimenzionální lineární regrese [2], kde nezávisle proměnnou není čas, ale socioekonomické parametry jednotlivých obcí v ČR [3], které jsou veřejně přístupné. Následný vývoj produkce KO v čase je modelován na základě očekávaných změn v těchto parametrech, které jsou odvozeny samostatně.

V první fázi tedy nedochází k přímému modelování časové řady produkce odpadů, ale naopak k vytvoření modelu produkce závislého na časové predikci socioekonomických parametrů. Ve zvoleném roce je tedy na základě parametrů obcí namodelována produkce odpadu a ta se v následujících letech mění v závislosti na změně těchto parametrů v čase (vzhledem k poměrně dlouhému predikčnímu období obsahuje ovšem model značnou nejistotu). Pro kalibraci modelu byla využita data z hlášení o produkci komunálních odpadů v obcích v roce 2011 z databáze informačního systému odpadového hospodářství PDISOH [4] předaná z MŽP.

Zdrojová data

Pro konstrukci modelu byla využita veřejně přístupná ročně aktualizovaná data, která poskytuje informační systém *Regionální informační servis* (IS RIS) Ministerstva pro místní rozvoj ČR [5] o každé obci ČR. Pomocí speciálního programu byl odtud pro každou obec určen vektor 14 parametrů tak, jak jej shrnuje **tabulka 3**. Počet obcí byl korigován na základě údajů Ministerstva vnitra ČR [6] na 6 251 obcí, nečíselné parametry (plynifikace, status obce) a počty škol a nemocnic byly přepočteny podle postupů popsaných v [3].

Tabulka 3: Parametry obcí vstupující do modelu z IS RIS

Číslo parametru	Název parametru	Označení proměnné	Jednotka
1	Počet obyvatel	INH	1
2	V důchodovém věku	RET	%
3	Nezaměstnanost	UNE	%
4	Plynifikace	GAS	1
5	Katastrální území	CAD	ha
6	Travnaté plochy	GRS	ha
7	Zahrady	GAR	ha
8	Přepočtené školy	SCH	1
9	Nemocnice	HSP	1
10	Podniky	BUS	1
11	Zem. Délka	LON	°
12	Zem. Šířka	LAT	°
13	Zem. Výška	ALT	m
14	Status obce	STS	1

V rámci expertní diskuze na IBA MU, Ekonomicko-správní a Přírodovědecké fakultě MU bylo následně identifikováno 19 prediktorů (nezávislých proměnných) tvořených součiny uvedených parametrů z **tabulky 3**, u kterých existuje předpoklad vlivu na produkci KO v obcích [3]. Tyto prediktory jsou společné pro všechny druhy odpadů a shrnuje je **tabulka 4**, kde je použito označení jednotlivých proměnných z **tabulky 3** ve vzorcích pro jednotlivé prediktory.

Tabulka 4: Prediktory multidimenzionálního lineárního modelu

Pořadí prediktoru	Vzorec pro výpočet prediktoru	Korelace
1	(INH + 1500) × (STS)	*
2	(INH + 1500) × (RET -12) × (STS)	*
3	(INH + 1500) × (UNE -5) × (STS)	*
4	(GAS + 50) × (STS)	*
5	(CAD) × (STS)	*
6	(GRS) × (STS)	*
7	(GAR) × (STS)	
8	(SCH) × (STS)	
9	(HSP) × (STS)	*
10	(BUS) × (STS)	
11	(LON -15,34) × (STS)	*
12	(LAT -49,74) × (STS)	*
13	(ALT -450) × (STS)	*
14	(INH + 1500)	
15	(INH + 1500) × (RET -12)	
16	(INH + 1500) × (UNE -5)	
17	(GAS + 50)	*
18	(INH + 1500) × (RET -12) × (UNE -5)	*
19	(STS)	*

Vícerozměrný model byl vytvořen pro každou z 6 251 obcí v ČR v obecném tvaru [3]:

$$P_{j.obec} = \prod_{i \in I_j} (p_{i.obec} + c_{i.obec}) \quad (1)$$

Kde $P_{j.obec}$ označuje hodnotu j -tého prediktoru v této obci, $p_{i.obec}$ označuje hodnotu i -tého parametru v této obci, $c_{i.obec}$ označuje empirickou konstantu, která je vypočtena během kalibrační fáze modelování, a I_j označuje indexovou množinu pro j -tý prediktor (tj. tato množina obsahuje indexy i takové, že součet $(p_{i.obec} + c_{i.obec})$ je zahrnut do tohoto prediktoru).

Vzhledem k možné vzájemné závislosti jednotlivých prediktorů bylo následně provedeno testování kolinearity prediktorů formou výpočtu Spearmanova korelačního koeficientu. Prediktory se statisticky významným ($p < 0,05$) korelačním koeficientem vyšším než 0,7 k některému z předchozích prediktorů byly postupně vylučovány, až byla získána množina 13 nekorelovaných ($\rho < 0,7$) prediktorů [3]. V **tabulce 4** jsou tyto nekorelované prediktory (tj. nevyloučené) označeny ve sloupci Korelace hvězdičkou.

Celková produkce komunálního odpadu W_{obec} každé obce byla na závěr vyjádřena jako lineární kombinace těchto 13 prediktorů s koeficienty a_k takto:

$$W_{obec} = a_1 P_{1.obec} + \dots + a_{13} P_{13.obec} + e_{obec} \quad (2)$$

kde $P_{1.obec}$ odpovídá hodnotě prediktoru P_1 v konkrétní obci a e_{obec} chybě modelu v této obci.

Predikce socioekonomických ukazatelů

Popsaný model umožňuje na základě socioekonomických parametrů obcí odhadnout jejich produkci v jednotlivých odpadových tocích v určeném čase. Jeho nevýhodou je právě to, že je vztažen ke konkrétnímu časovému období s konstantními hodnotami parametrů (konkrétně rok 2011). Časovou změnu produkce je proto nutné modelovat na základě předpokládané změny těchto parametrů v průběhu modelovaného období (2013 – 2024), které jsou do modelu vloženy jako nezávislé proměnné zvenčí.

V případě modelu produkce KO byly nezávislé proměnné rozděleny na ty, jejichž předpokládaná změna v čase je zanedbatelná a na dynamické proměnné, za které byly vzaty následující parametry:

- počet obyvatel v jednotlivých obcích,
- podíl občanů starších 65 let,
- nezaměstnanost,

Mimo tyto parametry obcí byl ještě v rámci dynamizace modelu zahrnut do předpovědi index popisující vývoj ekonomické kondice občanů – producentů KO a tedy:

- spotřeba domácností (makroekonomický ukazatel pro celou ČR).

V následujícím textu je pro tyto časově proměnné parametry podrobněji popsána metodika prognózy vývoje pod dobu predikovaného období.

Počet obyvatel v jednotlivých obcích

V modelu je uvažována nejnovější prognóza demografického vývoje obyvatelstva ČR publikovaná Českým statistickým úřadem (ČSÚ) v roce 2013 [7] (**tabulka 5**). Vlastní analýza prognózy demografického vývoje obyvatelstva ČR byla provedena pro odhad distribuce obyvatel mezi jednotlivá sídla v ČR, neboť tyto údaje prognóza [7] neobsahuje.

Tabulka 5: Počet obyvatel ČR v letech 2013 – 2024 podle [7]

Rok	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Obyv. [mil.]	10,52	10,52	10,53	10,53	10,54	10,54	10,54	10,53	10,53	10,52	10,51	10,50

Podíl obyvatel starších 65 let

Na základě studie [8] a aktuálních informací v [5], [9] o věkové struktuře obyvatelstva byl pro každou obec vypočítán lineární trend podílu osob starších 65 let, který byl následně korigován podle nově publikované prognózy ČSÚ [7], [9] (**tabulka 6**). Pro většinu obcí i celkovou demografickou strukturu obyvatelstva ČR jde o nárůst, který je v souvislosti s převážně negativní hodnotou koeficientu pro prediktor 2 významně ovlivňuje případný pokles produkce komunálních odpadů.

Tabulka 6: Podíl obyvatel ČR starších 65 let v letech 2013 – 2024 podle [9]

Rok	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
>65 let [%]	16,8	17,4	17,9	18,4	19,0	19,5	20,0	20,5	20,9	21,4	21,8	22,1

Nezaměstnanost

Nezaměstnanost není možné predikovat pro jednotlivé obce, proto vzhledem k nedostatečné délce celostátních prognóz publikovaných Ministerstvem financí ČR, resp. ČSÚ byla použita prognóza [10] z počátku roku 2012, která odhaduje změny nezaměstnanosti do roku 2017. Pro roky 2018 – 2024 byla uvažována mírně optimistická varianta poklesu nezaměstnanosti ročně o 1 ‰, což odpovídá postupnému přibližování k dlouhodobému průměru za období posledních dvou desetiletí (**tabulka 7**). Podobně jako v předchozím případě byla pak míra nezaměstnanosti v jednotlivých obcích určena proporcionálním rozdělením celkové nezaměstnanosti v jednotlivých krajích a okresech.

Tabulka 7: Nezaměstnanost v ČR v letech 2013 – 2024 podle [13]

Rok	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
nezam. [%]	7,9	8,1	7,8	7,6	7,4	7,3	7,2	7,1	7,0	6,9	6,8	6,7

Spotřeba domácností

Parametr průměrné spotřeby domácností byl vyhodnocen na základě závěrů mezinárodní expertní diskuze v Evropské agentuře životního prostředí (EEA) na workshopu EIONETu o modelech v odpadovém hospodářství únoru 2013, kterého se zúčastnili autoři příspěvku za ČR. Zde bylo konstatováno, že jako nejvhodnější volbou makroekonomického ukazatele produkce KO je spotřeba domácností. Tento parametr nahradil v předchozích verzích modelu používaný parametr změny *hrubého domácího produktu* (HDP) [11]. Parametr spotřeba domácností nevystupuje jako jeden z prediktorů v návrhu tohoto modelu a jeho vliv na produkci KO je vyjádřen pouze jako relativní meziroční pokles/nárůst totožný pro všechny obce ČR. Za referenční byl považován rok 2011, produkce KO v dalších letech pak sledovala změnu průměrné spotřeby domácností (tj. byl předpokládán stejný růst množství KO jako růst spotřeby domácností v příslušném roce).

Vzhledem k nedostatečné délce prognóz publikovaných Ministerstvem financí ČR, resp. ČSÚ byla použita stejně jako v předchozím případě prognóza [10] z počátku roku 2012, pro období 2012 – 2017. Prognózu spotřeby domácností pro následující roky je již velmi obtížné spolehlivě predikovat, proto byla předpokládána mírně optimistická varianta pokračujícího růstu spotřeby domácností ve výši 1,2 % ročně, která odpovídá dlouhodobému trendu růstu spotřeby domácností v průběhu posledních 20 let (**tabulka 8**).

Tabulka 8: Změna spotřeby domácností v ČR v letech 2013 – 2024 podle [10]

Rok	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Změna [%]	-0,1	1,7	1,4	1,4	1,5	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

Výše uvedený model byl naprogramován v jazyce R a nakalibrován na vzorku dostupných dat z hlášení produkce a nakládání s odpady obcí z roku 2011, tj. obecný výraz pro produkci (2) byl pro každou z 6 251 obcí položen skutečné produkci W_{obec} této obce v roce 2011 a následně byla změnami konstant a_k celková kvadratická chyba minimalizována (lineární regrese) až k nalezení optimálního řešení. Na závěr byly vyloučeny statisticky nevýznamné prediktory a model byl znovu přepočítán.

Výsledky a diskuze

Prvotním výsledkem byla pro každý posuzovaný odpadový tok rovnice ve tvaru (2) s dosazenými hodnotami konstant. Celkový počet nekorelovaných prediktorů (13) poklesl vlivem vyloučení statisticky nevýznamných prediktorů pro předpověď (pro každý tok jinak). Vzhledem ke komplikované formě neuvádíme podobu všech pěti rovnic, ale jako zástupce pouze rovnici produkce BRKO, pro niž byly významné prediktory 1, 2, 3, 4, 6, 11, 17, 18 a 19 a která nabývá následujícího tvaru:

$$W = 0,151 \cdot P_1 - 0,007 \cdot P_2 - 0,003 \cdot P_3 + 37,581 \cdot P_4 - 0,077 \cdot P_6 + 5,758 \cdot P_{11} - 16,124 \cdot P_{17} + 0,001 \cdot P_{18} - 1254,078 \cdot P_{19} \quad (3)$$

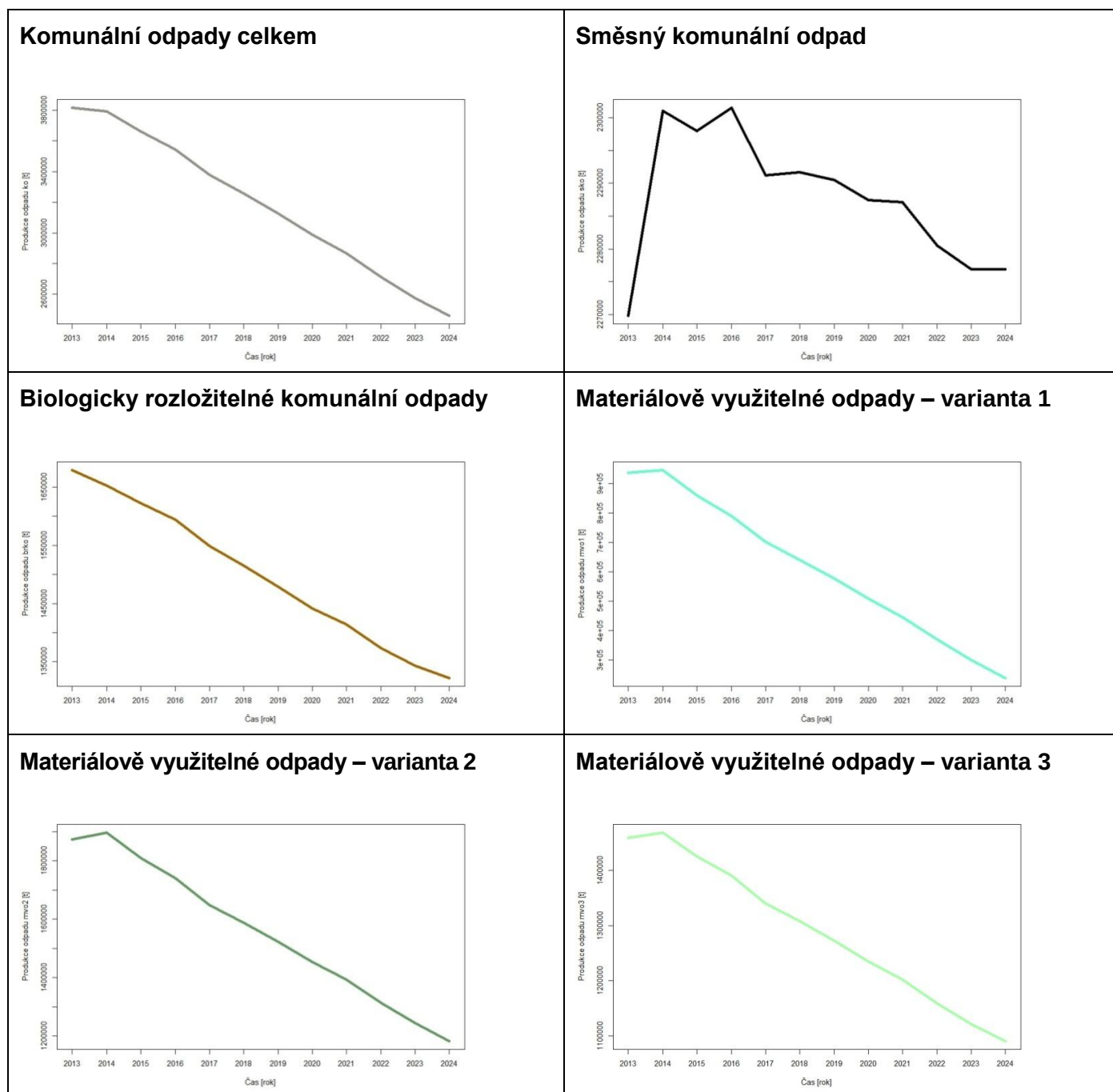
Po rozepsání na původní parametry obcí nabývá rovnice (3) následujícího tvaru (v tunách):

$$W = 886 + 0,053 \cdot INH + 921 \cdot STS - 6,634 \cdot RET - 15,9 \cdot UNE - 16,1 \cdot GAS - 0,007 \cdot STS \cdot INH \cdot RET + 0,0009 \cdot INH \cdot RET \cdot UNE - 0,003 \cdot STS \cdot INH \cdot UNE + 1,33 \cdot RET \cdot UNE + 0,257 \cdot STS \cdot INH - 0,004 \cdot INH \cdot RET - 11,2 \cdot STS \cdot RET - 0,011 \cdot INH \cdot UNE - 4,63 \cdot STS \cdot UNE + 37,6 \cdot STS \cdot GAS + 5,76 \cdot STS \cdot LON - 0,077 \cdot GRS \cdot STS \quad (4)$$

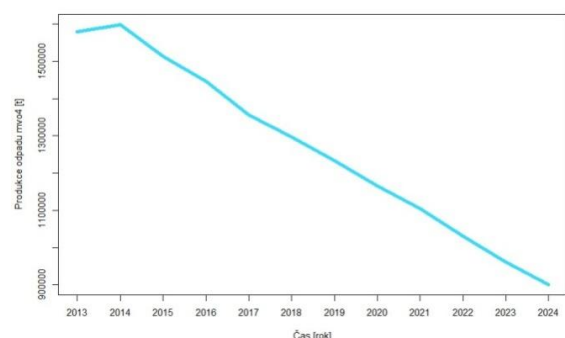
Diskuze reálného významu získané formy je poměrně obtížná, nicméně dobře patrný je z rovnice (4) podstatný konstantní člen 886 t BRKO na obec (bez vlivu dalších parametrů), drobnou úpravou lze zjistit, že zvyšující se podíl osob starších 65 let (RET) má negativní vliv na produkci, mimo členy, kde se potkává společný efekt podílu starších osob a podílu nezaměstnaných.

Nahrazením konstantních vstupních parametrů obcí jejich dynamickou variantou (časové řady diskutované výše) získáváme vlastní prognózu. Grafy výsledků prognózy časových řad pro jednotlivé odpadové toky vypočítané pomocí modelu produkce komunálních odpadů shrnuje **tabulka 9**.

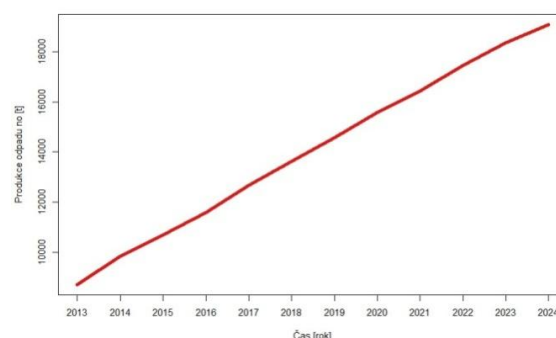
Tabulka 9: Odhady trendů produkce pro jednotlivé toky komunálních odpadů



Materiálově využitelné odpady – varianta 4



Nebezpečné složky komunálních odpadů



Z grafů jednotlivých odpadových toků je dobře patrné, jaké tendence předpovídá model s ohledem na vývoj populace a ekonomiky v příštím desetiletí. Počínající pokles počtu obyvatel ČR současně se stárnutím populace a nekončícím ekonomickým zpomalením (a souvisejícím nárůstem nezaměstnanosti) vyústily v očekávaný pokles produkce KO. Ten je nejvíce patrný u materiálově využitelných odpadů (všechny varianty) a celkového toku KO, naopak produkce SKO by měla zůstat přibližně stejná a produkce nebezpečných složek narůstat.

V rámci diskuze získaných výsledků je ovšem nutné zdůraznit, že model byl kalibrován na datech o produkci a nakládání z jediného roku a tak, přestože je poměrně robustní díky značnému počtu jednotlivých obcí, z nichž byla získána data, není možné jej považovat za absolutně spolehlivý. Výrazné vychýlení produkce v roce 2011 určitým směrem by totiž mohlo mít za následek ovlivnění všech předpovědí určitým směrem. Další významná neurčitost je ve výsledcích obsažena díky nejistotě ve vstupních časových řadách převzatých z populačního modelu, prognózy nezaměstnanosti a spotřeby domácností. Díky těmto vlastnostem je nutné model považovat spíše za orientační a pro výslednou prognózu obsaženou v POH bylo nutné jej doplnit ještě dvojicí regresních modelů.

Závěry

Na Masarykově univerzitě byl vyvinut nový matematický model prognózy produkce komunálních odpadů využitelný po modelování nakládání s komunálním odpadem v obcích, obcích s rozšířenou působností, krajích i celé ČR, po adaptaci vstupů je možné model vztáhnout na odpadová data v celé EU. Diskutovaný model byl použit MŽP při přípravě nového Plánu odpadového hospodářství v České republice pro období 2015 – 2024 jako jedna ze tří částí komplexního modelu produkce KO.

Popsaný matematický model přinesl nové nástroje na podporu rozhodování pro MŽP ČR pro oblast odpadového hospodářství a společně s dalšími složkami komplexního modelu tak podporuje udržitelné nakládání s odpady v ČR v souladu s právními předpisy EU o odpadech.

Literatura

- [1] Ministerstvo životního prostředí ČR, Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů (Katalog odpadů). 2001.
- [2] Budíková, M., Králová, M., Maroš, B., 2010: Průvodce základními statistickými metodami. Praha: Grada Publishing, a. s., 272 s. ISBN 978-80-247-3243-5.
- [3] Hřebíček, J.; Kalina, J.; Soukopová, J., Integrated Economic Model of Waste Management: Case Study for South Moravia Region. Acta universitatis agriculturae et silviculturae Mendelianae Brunensis 2013, LXI, No. 4, pp. 917 – 922 [online]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.11118/actaun201361040917>

- [4] ISOH. Informační systém o odpadech. 2013. [online]. Dostupné z: <http://isoh.cenia.cz/groupisoh/>
- [5] Centrum pro regionální rozvoj České republiky. Regionální informační servis. [online]. Dostupné z: <http://www.risy.cz/cs>.
- [6] Ministerstvo vnitra České republiky. Počty obyvatel v obcích. [online]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/clanek/statistiky-pocty-obyvatel-v-obcich.aspx>.
- [7] Český statistický úřad. Populační prognóza ČR do r. 2050. [online]. Dostupné z: <http://www.scitani.cz/csu/2004edicniplan.nsf/p/4025-04>.
- [8] Svobodová, K. Analýza: Stárnutí populace podle výsledků projekce ČSÚ. [online]. Dostupné z: http://www.demografie.info/?cz_detail_clanku&artclID=34.
- [9] Český statistický úřad. Animované stromy života české populace v letech 1950 – 2101. 2013. [online]. Dostupné z: http://www.czso.cz/animgraf/projekce_1950_2101/index.htm
- [10] Vejrník, J.; Škop, J. í.; Frayer, M.; Adamkovič, M.; Dřímál, M.; Malíčková, J., Ekonomické výhledy. In Pomůžte nízká inflace spotřebitelům?, Praha: Komerční banka, 2013.
- [11] Hřebíček, J.; Kalina, J. In: Porovnání analýz skladby SKO v Brně s dalšími lokalitami v ČR, SR a Polsku, Odpadové fórum, Kouty nad Desnou, Procházka, O., Ed. Kouty nad Desnou, 2012.
- [12] Vejnar, P.; Šepelová, G.; Čejchan, T.; Grusman, P., Zpracování matematického vyjádření výpočtu „soustavy indikátorů OH“ v souladu s vyhláškou č. 351/2008 Sb., kterou se mění vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění pozdějších předpisů. Praha, 2011.

Prognosis of municipal waste production until 2024

Jiří KALINA¹⁾, Jiří HŘEBÍČEK¹⁾, Gabriela BULKOVÁ²⁾

¹⁾ Institute of Biostatistics and Analyses, Kamenice 126/3, 625 00 Brno,

Research Centre for Toxic Compounds in the Environment, Kamenice 753/5, 625 00 Brno,

²⁾ Ministerstvo životního prostředí, Vršovická 1442/65, 100 00 Praha 10

Summary

The paper describes the first part of a new complex prognostic model developed for modelling of municipal waste production and treatment. The model was created as multidimensional linear model of waste production in individual municipalities, which utilizes socioeconomic data on the municipalities and one-year sample of a data on production and treatment of waste in 6,251 Czech municipalities. The model brings new decision support tools not only for the Ministry of the Environment of the Czech Republic but also for Member States of European Union.

Keywords: Municipal waste, modelling, prognosis, waste flows.

Biogas system and possibilities of control and use of digestate in Czech Republic: A Review

Lukáš KUČERA, Petr BEDNÁŘ

Regional Centre of Advanced Technologies and Materials, Department of Analytical Chemistry, Faculty of Science, Palacký University, 17.listopadu 12, 779 00, Olomouc, Czech Republic; e-mail: petr.bednar@upol.cz

Abstract

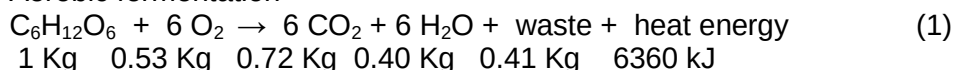
Anaerobic fermentation is excellent ecological waste treatment and the way how to produce cheap electrical and thermal energy. Biogas stations are divided in three main groups – agricultural, waste and industrial. Agricultural biogas stations are the most frequent due to the purchase price of energy which is higher than for waste biogas stations. In future we can expect greater construction of waste biogas stations according to new European Notice 1999/31/EC, which plan to reduce the amount of biodegradable waste going to landfill to 35% until year 2020. Considering this notice a higher production of digestate can be anticipated. At present, analytical control of digestate comprise only basic parameters, which are important for its use as fertilizer or as fuel (pellets form). However, detailed research on processes occurring in digestate as well as routine control of pollutants such as pesticides, PCBs, herbicides, fungicides and heavy metals for routine analysis is still in development. The aim of this review is to reflect the state of art of biogas production namely with regard to control and use of digestate produced by biogas stations in European Community and especially in Czech Republic.

Key words: biogas system, digestate, fermentation, anaerobic, methanogenic bacteria, digestate control, digestate usage

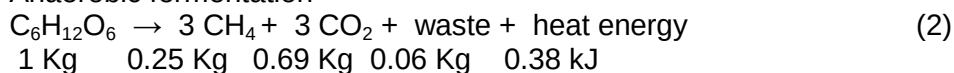
1. Introduction

The beginnings of biogas systems can be dated to the turn of the 19th and 20th century, but first notes debating the possibility of producing biogas appeared earlier. These historical "biogas stations" were situated in sewage disposal plants, where the resulting biogas was used for lighting and heating. The first anaerobic biogas station was built in leper colony in Bombay, India in 1859¹. Anaerobic digestion reached to England in 1895, where the biogas plants were optimized for sewage treatment and the biogas was used as fuel to street lamps in Exeter². Research in the area of anaerobic fermentation and biogas stations began in 1930s³. Gradual research discovered many types of anaerobic methanogenic bacteria that can produce methane. Anaerobic microorganisms producing methane significantly influenced composition of the atmosphere of Earth in past, until oxygen appeared. Oxygen is toxic for anaerobic bacteria causing their recession⁴. The differences between aerobic and anaerobic fermentation are shown on the decomposition of glucose (Eq.: 1-2)⁵.

Aerobic fermentation



Anaerobic fermentation



In the aerobic process, more amount of solid substrate (waste) was observed compared to anaerobic process. Moreover, this waste is heated by released thermal energy. In the anaerobic process, the amount of released heat is not high enough to cause warming of the solid substrate and additional heating of material is at the beginning of the process required. On the other hand, after the process of anaerobic fermentation is established the material releases enough energy to maintain optimal

temperature and chemical energy of biogas represents the benefit of the process⁶. During anaerobic fermentation, the bacteria propagate and gradually increase the production of methane versus carbon dioxide. Waste material remains in the reactor after the fermentation process is over.

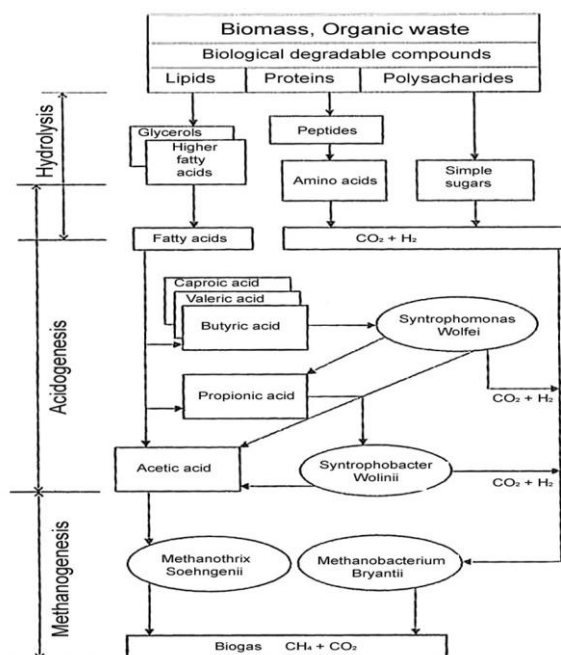
There are two basic approaches for anaerobic fermentation; i) "wet" anaerobic fermentation is based on fermentation of stirred feedstock mixed with liquid medium. The residue from the fermentation process is called digestate. ii) second fermentation technique is known as "dry" anaerobic fermentation. Feedstock is inserted into a metal sieve in the upper part of the reactor and showered by water in timed cycles. The resulting liquid residue is called percolate, which can be used later as liquid fertilizer⁷. The solid part is usually composted after fermentation. The process of biogas formation is relatively well described. On the other hand, the chemical composition of digestate would deserve a higher attention especially from the point of view of its utilization, safety and effect on environment. The aim of this communication is to inform comprehensively about the state-of-the-art of investigation of biogas production process and control of rising products. Particular attention is given to digestate formation, analysis of its composition and possibilities of its use.

2. Biogas systems

2.1. Principle of biogas production

Biogas is a mixture of two gases, CO₂ and CH₄. The gases however do not appear right after inserting the material into the reactor and their gradual production consists of several stages (see Figure 1). In initial stage, residual oxygen is present in the reactor and therefore this phase does not include action of methanogenic bacteria, but only aerobic ones^{8, 9}. The initial stage can be described as decomposition (mostly hydrolysis) of biopolymers. Lipids turn into glycerol and higher fatty acids, proteins decompose to peptides and consequently to amino acids, polysaccharides to simple sugars. Hydrolysis is followed by acidogenesis (both phases partially overlap). Higher fatty acids are further decomposed to lower ones (caproic, valeric, butyric, propionic and acetic acid), and the other substances to CO₂ and H₂. Hydrolysis and acidogenesis are mostly constituted by hydrolytic and acidogenic bacteria¹⁰. Final phase of anaerobic fermentation is called methanogenesis. This process is driven mainly by acetotrophic bacteria (*Methanotrix Soehngenii*, *Methanomicrobiales*) and hydrogenotrophic bacteria (*Methanobacterium Bryantii*, *Methanobacteriales*)^{4, 11}. The first mentioned bacterium is responsible for conversion of acetate into methane and carbon dioxide. This bacterium is not able to reuse substrates such as CO₂, H₂^{12, 13}. The latter one is able to use carbon dioxide and hydrogen for its growth^{12, 14}. Note that for effective biogas production both kinds of bacteria should be present in reaction mixture.

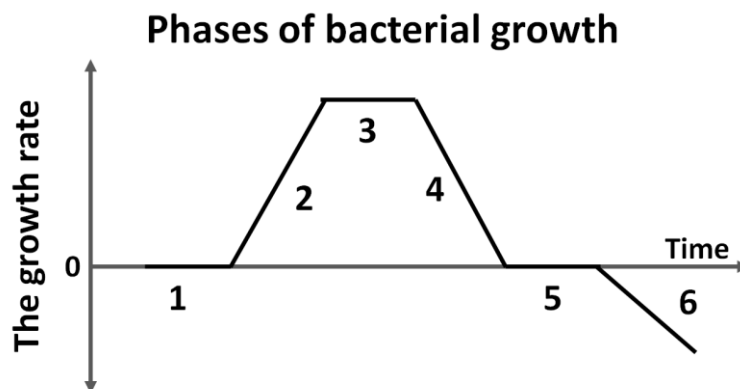
Figure 1: Scheme of processes in biogas reactor (published with permission of the authors¹⁵)



The growth rate of bacteria in the methanogenic stage is of course greatly influenced by composition of feedstock. Bacterial reproducibility can be characterized by the growth curve that can be described by six stages⁵ (**Figure 2**):

- 1) Lag phase - adaptation of bacteria to environmental conditions
- 2) Phase of accelerated growth - part of (already adapted) microorganisms begins to multiply
- 3) Exponential growth phase - the bacteria are fully adapted and multiply rapidly
- 4) Phase of slow growth - growth rate of microorganisms lowers
- 5) Stationary phase – nutrients go down, vitality and mortality of bacteria is in equilibrium
- 6) Decline (death) phase - lack of nutrients kills the bacteria and they decompose

Figure 2: Phases of bacterial growth, 1) lag phase, 2) phase of accelerated growth, 3) exponential growth phase, 4) phase of slow growth, 5) stationary phase, 6) decline phase

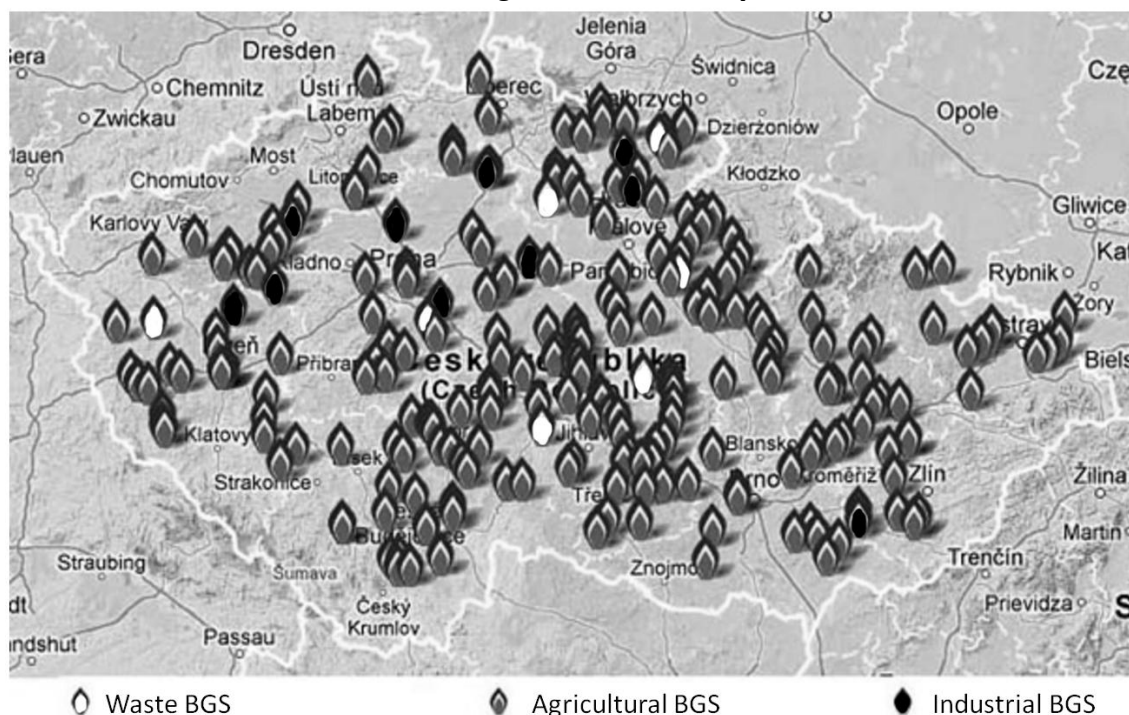


To speed up the first and second phase of the fermentation process, vaccine (inoculum) from the fermenter at stable state can be used. Second option for starting up the fermentation process is use of a dried methanogens in their inactive state¹⁶. Some of these inactive bacteria are commercially available and in some case even enriched with another kind of bacteria, such as cellulolytic bacteria, half-cellulolytic bacteria, amylolytic decomposing bacteria and protein decomposing bacteria for increasing anaerobic fermentation^{17,18}.

2.2. Biogas stations

Most of the biogas stations are located near the big stock farms (hog and cattle ones). Those farms produce a lot of manure and energy crops (corn silage, grass, sugar beet)¹⁹. Public Notice of the Czech Republic Notice 482/2005 Sb.²⁰ about determination of the types and the use of biomass for electricity generation was novelized by Notice 5/2007 Sb.²¹ and then by Notice 477/2012 Sb.²² about determination of the types and the use of biomass for electricity, heat and biogas generation. All these notices specify that the biogas station must be registered in the category AF1 to achieve the highest purchasing price of electricity. AF1 category means that more than 50 % (m/m) of feedstock per month must come from biogas crops²³. The rest of the input material must be represented by one of approved organic ecological ingredients, such as: cereal grain and oilseeds, grass material including other plant tissues, slops from the production of fermented spirits¹⁹ or intermediates of livestock production (manure, dung, dung water, separated slurry)²³⁻²⁵. If the requirements regarding input material are not fulfilled, the biogas station is classified as AF2, which results in lower purchase price of electrical energy²⁶. Suitable substrates for AF2 biogas stations can be characterized as waste (e.g. waste from the food, brewing, dairy, canning, sugar, and tobacco industry)^{23, 25}. The biogas stations which process animal waste are relatively specific and they follow European Notice 1774/2002²⁷.

Figure 3: Biogas stations (BGS) in Czech Republic (year 2012) (Published with permission of Czech Biogas Association²⁸)



The map of biogas stations (**Figure 3**) on websites of the Czech Biogas Association²⁸ shows that the agricultural biogas stations are more common than waste and industry biogas stations. Currently are in Czech Republic around 500 biogas plants. The precise number on the date July 31st 2013 was 487 biogas plants, of which 317 are agricultural, 7 municipal, 11 industrial, 55 on junkyard and 97 as parts of wastewater treatment plants. The fact that agricultural plants are more frequent can be explained with the purchase price of energy. The most common capacity of biogas station built in Czech Republic is around 1000kW, the highest capacity of biogas station is 3858 kW and the lowest is 47kW.²⁸ According to the Energy Regulatory Office (ERU), the purchase price is 4120 CZK/MWh in group AF1 and 3550 CZK/MWh in group AF2 (roughly 150 EUR/MWh in AF1 and 130 EUR/MWh in AF2, respectively; decision of ERU 2011)²⁹. It can be expected, that this imbalance will change due to the new Notice 1999/31/EC³⁰ on the waste landfill. This directive obligated member states to reduce the amount of

biodegradable waste going to landfill to 75% of weight of this type of waste produced in 1995 until 2010. Consequently, next reduction to 50% until 2013 and to 35% until 2020 is required³¹. For this reason a unification of those two categories of biogas stations can be expected. Expectable consequence is an increase of amount of digestate with different parts of ecological and waste feedstock and with various agriculture parameters.

2.3. Analysis of digestate composition during the fermentation process

Composition of digestate is obviously related to the nature of used feedstock and the circumstances of its genesis³². Digestate can be used as a fertilizer, but the initial registration in Central Controlling and Testing Institute of Agriculture in Prague is needed. Only if the digestate is produced solely from cattle manure (manure, slurry, etc.) or roughage (silage, haylage, hay, etc.), it is considered a fertilizer and can be used for personal use without any registration³³.

As mentioned in previous paragraph, analyses of feedstock are an important part of any proper operation of biogas system. Total dry matter content (total solid, % of weight) and content of organic solids in input material should be monitored for theoretical calculation of amount of organic substances decomposable by anaerobic fermentation. Stability of gasification process is endangered in materials where the content of organic nitrogen exceeds the limit of 10% of weight of organic solids, since microorganisms could be poisoned by free ammonia (commonly going with an unusual stink) and the pH value will change^{10, 24}. The pH of the material together with its buffering capacity is important parameter for good biogas production and therefore it is important to monitor pH of feedstock material before fermentation. For example animal faeces are rich in ammonia (more than 4 g.l⁻¹), so if animal faeces indicate low dry matter and potential threat of ammonia, it is necessary to mix them with energy-rich material^{6, 34}.

In this regard, plant materials with the C:N ratio of 20-100:1 should not cause problems. Pork slurry with C:N ratio 12 – 13:1, bone meal (meat-bone meal) with C:N ratio 4 – 7:1, blood with C:N ratio 3 – 4:1 and rapeseed slices with C:N ratio 8 – 12:1 could be on the other hand viewed as hardly gasifiable materials. For fully stabilized process the C:N ratio about 20 – 30:1^{10, 14, 24} appears to be optimal. The ratio of C:N can be adjusted by addition of plant substrate (straw, grass, etc.). Note however, that some kind of plant tissues with protein legumin (vegetable casein) contain more than 5% (m/m) of nitrogen are inappropriate for the C:N ratio adjustment. Another parameter influencing both the biogas yield and composition of digestate is the load of material into the biogas station³⁴. A smaller amount of feedstock is required in the first phase of fermentation. If the amount of feedstock material in batch is too big, the input solution is exceedingly acidified during acidogenesis and the reaction mixture becomes inappropriate for bacterial growth. Also, in such a case, the composition of digestate would not be optimal for its use as fertilizer, because it would contain poorly decomposed feedstock material and the pH would be too low (amount of CO₂) or too high (amount of NH₃) depending on feedstock composition^{10, 35, 36}. Besides, it is useful to monitor the content of easily degradable components (starch, lipids and proteins) and the amount of hardly degradable fiber. Furthermore, we can determine the content of macroelements in input mixture, which can be later found in the digestate. Main analyses of feedstock are shown in Table 1. Microelements such as Cd, Pb, Hg, As, Cr, Ni, Cu, Zn, Fe, Mn are not analysed in feedstock material, but only in digestate if using as fertilizer is planned^{32, 37}.

In **Table 1** standard analytical procedures (mostly Standard Operating Procedures, SOP) implementable by accredited laboratories are listed. Commonly they are done by specialized sites (e.g. laboratories of Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture of Czech Republic). Unfortunately, main analyses, do not provide any information about pollutants (pesticide etc.) or metabolites (animal, plant or microbial), that could form another compounds during biogas fermentation in (nearly) anaerobic conditions. It would be appropriate to put more effort into the analysis of input material.

Table 1: Parameters controlled in feedstock

Parameter	Symbol, unit	Indication of used method/basic principle	
Main parameters			
Dry matter content (total solid)	TS, % (m/m) in dry matter	SOP 32 (ČSN EN 12879)	drying, weighing
Combustible compounds	% (m/m) in dry matter	SOP 32 (ČSN EN 12879)	annealing, weighing
Total organic carbon	TOC, % (m/m) in dry matter	SOP 56 (ČSN EN 13370)	oxidation to carbon dioxide, spectrophotometry
Total carbon	CT, % (m/m) in dry matter	SOP 32 (ČSN EN 12879)	combustion, detection of CO ₂
Chemical oxygen demand	COD _{Cr} , mg.dm ⁻³	SOP 05 (TNV 757520)	titration with potassium dichromate
Acid neutralization capacity	ACN, mmol.dm ⁻³	SOP 50 (ČSN EN ISO 9963-1)	acidimetric titration
pH	-	SOP 44 (JPP ÚKZUZ, Brno)	potentiometry
Lipids	g.kg ⁻¹ in dry matter	SOP 66 (JPP ÚKZUZ, Brno)	extraction, solvent evaporation, weighing
Proteins	g.kg ⁻¹ in dry matter	O – 14	coagulation by Barnstein method, kjeldahlization
Starch	g.kg ⁻¹ in dry matter	C – 6	hydrolysis, polarimetry
Fibre	g.kg ⁻¹ in dry matter	SOP 64 (ČSN ISO 6541)	modified Scharrer method
Content of nutrients			
Total nitrogen	N _C , % (m/m) in dry matter	SOP 61 (JPP - ÚKZÚZ, Brno)	kjeldahlization
Ammoniac nitrogen	N _{NH4+} , mg.kg ⁻¹ in dry matter	SOP 65 (JPP - ÚKZÚZ, Brno)	distillation, titration/spectrophotometry
Nitrous nitrogen	N _{NO3-} , mg.kg ⁻¹ in dry matter	SOP 65 (JPP - ÚKZÚZ, Brno)	mineralization, spectrophotometry
Total phosphate	P _C , mg.kg ⁻¹ in dry matter	SOP 62 (JPP - ÚKZÚZ, Brno)	mineralization, spectrophotometry
Calcium	Ca, % (m/m) in dry matter	SOP 60 (JPP - ÚKZÚZ, Brno)	mineralization, AES
Potassium	K, % (m/m) in dry matter	SOP 60 (JPP - ÚKZÚZ, Brno)	mineralization, AES
Magnesium	Mg, % (m/m) in dry matter	SOP 60 (JPP - ÚKZÚZ, Brno)	mineralization, AAS
Total sulfur	S _T , mg.kg ⁻¹ in dry matter	SOP 94	mineralization, gravimetry as BaSO ₄

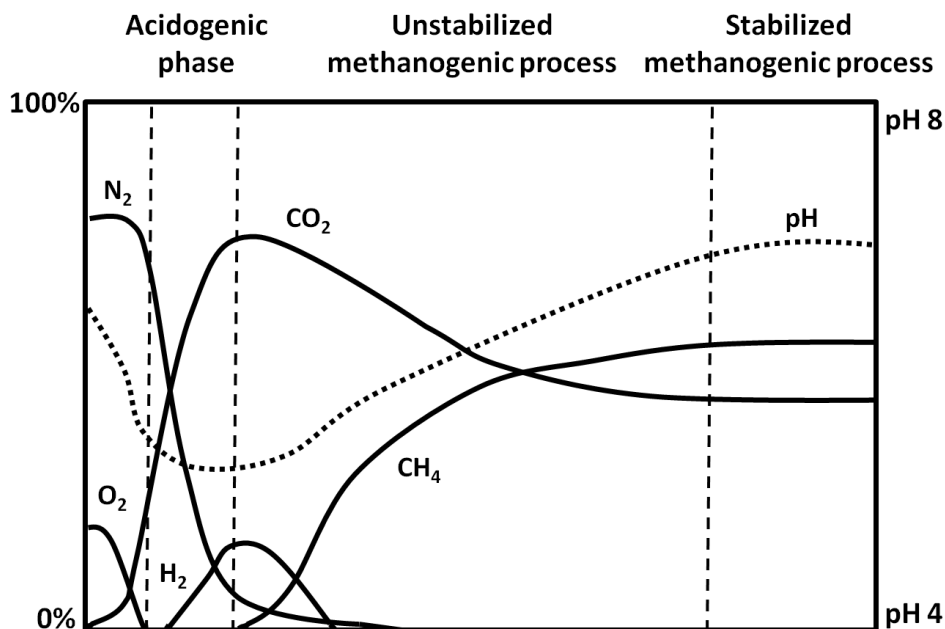
AES – atomic emission spectroscopy; AAS – atomic absorption spectroscopy

2.4. Analysis of gas phase during anaerobic fermentation

Analysis of gaseous compounds arising during fermentation is very important for maintaining of the biogas production in optimal conditions. Carbon dioxide and methane are two main gases in the internal atmosphere of the reactor. Figure 4 shows the rising of the amount of the gaseous components during anaerobic process and changes of pH. In the first phase of fermentation (hydrolysis) a very fast decrease of oxygen and nitrogen as main parts of air was observed. The amount of carbon dioxide increased with simultaneous decrease of pH. This process is still observed in acidogenic phase. In the final phase (methanogenesis) the content of methane escalates with simultaneous reduction of content of CO₂ and H₂. Then acidity of reaction mixture and content of carbon dioxide decreases (pH ≥ 7)^{38, 39}. Beside aliphatic, alicyclic and aromatic hydrocarbons, alcohols and thiols, aldehydes and ketones, esters, ethers, sulphides and disulphides, halogenderivatives of hydrocarbons (among them also environmental contaminants – PCBs, herbicides, pesticides, fungicides), amines and furan with its

derivatives were detected. All of these environmental pollutants were determined in digestate in laboratory using Membrane Biological Reactor (MBR)^{40, 41}. It is necessary to find appropriate analytical method for fast and cheap analyses of digestate and reactor atmosphere focus to main pollutants.

Figure 4: Composition of gases during digestion with changes of pH (published with permission of authors¹⁵)



Some of mentioned minor compounds are responsible for air contamination in the surroundings of biogas stations and to a certain extent also digestate. Kind of odour can roughly indicate functional groups present in volatile compounds as described elsewhere^{42 - 44}. Arising smell during anaerobic fermentation indicate inconvenient fermentation process. Main factors which influence production of biogas are feedstock material (slaughterhouse waste, sludge from sewage treatment plants, fats and blood from slaughterhouses) and time of fermentation. The formed digestate must be then stored in hermetic reservoir for stabilized and reduce smell. Another important tool for prevention of smell is bio-filter (limestone, ammonium sulphate, phosphate, microorganisms), which must be installed in every potential critical biogas plant⁴⁵.

Sampling of the gas samples around biogas stations is by itself an objective of extensive research. There are many comprehensive reviews dealing with different kinds of sample collection and analysis^{42, 44-48}. Among analytical techniques used gas chromatography and its combination with mass spectrometry represents the most common procedure^{46 - 47, 49}. Another procedure is based on Open-Path Fourier Transform Infrared Spectrometry (OP-FTIR)⁵⁰. Sensory evaluation of volatile compounds released from biogas systems is based on dynamic olfactometry (DO). Results are evaluated in Odour Units (ouE, European odour unit). This method is set by European Norm (EN 13725)^{51, 52}.

3. Constitution of digestate and its control

The knowledge of chemical composition of digestate is important for its future use. At present, the analytical control of digestate includes only main basic parameters which are demanded by related legislation. Main controlled items include agrochemical parameters (Total Carbon, COD_{Cr}, content of N, P, K, Ca, Mg, S, total solid)³² and content of some elements, especially metals (Cd, Pb, Hg, As, Cr, Ni, Cu, Zn, Fe, Mn) are usually determined using atomic absorption spectrometry (FA-AAS). Another methods for quantification of metals are inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-

AES), inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and hydride generation atomic absorption spectrometry (HGAAS)^{32, 37}.

Electrothermic atomization – atomic absorption spectrometry (ETA-AAS) is standardized technique for speciation of arsenic (Norm EN ISO 15586)⁵³ and analysis of cadmium (Norm EN ISO 5961)⁵⁴. Atomic absorption spectrometry is a recommended method for determination of Mo, Zn, Pb, Cu, Ni (Norm ISO 8288)⁵⁵ and Cr (Norm EN 1233)⁵⁶. Determination of mercury is based on AMA analyzer (Advanced Mercury Analyzer) (Norm ČSN 757440)⁵⁷.

Other determined parameters are fat (gravimetric method; Norm ČSN 757509)⁵⁸, hydrolysable and extractable compounds, unhydrolysable rest of fibre and ash (Henneberg – Stohmann – Ruškovsky method)³⁴. The amount of microelements is varied and strongly depends on history of feedstock. Cu and Zn belong to hazardous elements in cow manure for instance. Copper appears in bovine manure in the form of copper sulphate usually used to clean hoofs⁵⁹. Zinc comes from zinc oxide used to adjust enteral microflora of cattle⁶⁰.

In some cases, the amount of chitin is determined in the input mixture. Chitin is an important component of wood, but it is very poorly degradable by methanogenic bacteria. Chemically it is a homopolymer of (1-4)-BN-acetyl-D-glucosamine. Decomposition to N-acetyl-D-glucosamine is carried out by two hydrolases – chitinase (EC 3.2.1.14) and N-acetyl-D-glucosaminidase (EC 3.2.1.52)⁶¹. Yasir et al. (2009)⁶² recently discovered that earthworms produce large amount of chitinase allowing increasing the degradability of chitin. Furthermore earthworms prevent the formation of pathogenic fungi. Obviously, it is possible to use compost as an additive for better decomposition of chitin to smaller organic substances.

It was also found that some pathogenic bacteria could survive in the digestate (e.g. *Salmonella*, *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli*, *Bacteroides fragilis*, *Listeria monocytogenes*, *Giardia*)⁶³ and they can subsequently proliferate when the digestate is used as a soil fertilizer^{64, 65}. Microbial analysis is thus another required tool to control gasification process and subsequent use of digestate. Details of microbiological analyses exceed however the scope of this article. On the other hand, modern analytical chemistry offers analysis of biomarkers of the presence of some kinds of bacterial colonies⁶⁶.

Analysis of digestate includes mostly agrochemical parameters and hazardous elements (especially heavy metals). However, the question is what happens with particular organic compounds during anaerobic digestion. The compounds could react with each other or can be transformed during the gasification process. Those processes are undoubtedly subjects of future research (potential negative/positive effects of arising derivatives).

4. Physicochemical treatment of digestate for further use

Many agricultural biogas plants are part of the farms and the digestate they produce is used as a fertilizer. However, digestate contains relatively large amounts of nitrogen compounds, which could be accumulated on farms or fields, respectively. At the present time, the export of digestate to agricultural land is governed by appropriate directives – Law No.9/2009 Sb. (Czech Republic)⁶⁷ and Regulation 834/2007 (European Union)⁶⁸ and Directive 91/676/EEC (European Union)⁶⁹. Those laws protect aquatic ecosystems against pollution (eutrophication risk). The farmers are constraining to transport the digestate to distant places in order to avoid release of excessive macroelements (i.e. NH_4^+ and PO_4^{3-} first of all) from soil to phreatic water around biogas plants^{70, 71}. This is documented by an example from a biogas station located in Bavaria, close to Passau. This biogas station treats approximately 46,000 tons of bio-waste per year and produces about 15,000 tons of digestate per year. This huge amount of digestate cannot be exported to one location (field, meadow, etc.) and there is a need to modify it and export or sell it⁷². Digestate may contain up to 95% of water, which often has to be removed. Reason for this is to reduce transport costs and to save storage space. Excess of water can be removed using membrane filtration⁷³, reverse osmosis^{74, 75} or combination of mechanical (filtration) and thermal dewatering (stream of hot air)⁷⁶. Thanks to commercial availability of specific devices, these mentioned methods have been already utilized in Czech Republic. Another very often described thing is reduction of the content of unwanted elements in digestate⁷⁵. The first step is the separation of the liquid and the solid part of the digestate. This is usually made by flocculation using polyacrylamide. Flocculation can be

further supplemented with inorganic salts – optimally $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ and FeCl_3 ⁷⁶. Second method of separation involves capturing the solid components using emulsion or powder based polymers for flocculation then is used rotating drum for separation to two parts (solid and liquid). Solid material is remaining on rotating drum. The solid residue is pasteurized by high temperature, which kills all potentially pathogenic organisms. Then, the solid material is stabilized by conversion into an organic soil conditioner rich in phosphorus. The liquid residue still contains a large amount of potassium and inorganic nitrogen. Nitrogen can be converted using nitrifying-denitrifying bioreactor to N_2 ⁷⁵. More detailed description of the biological removal of nitrogen is provided in a publication of Henze et.al. (2002)⁷⁸. Briefly, the process of conversion of ammonia to gaseous nitrogen is divided into two steps. The first is the autotrophic nitrification, which involves the oxidation of NH_4^+ to NO_2^- and then to NO_3^- by nitrifying bacteria in an aerobic environment. The second step is heterotrophic denitrification, which leads to the reduction of NO_3^- to gaseous nitrogen (N_2) using denitrifying bacteria in an anaerobic environment with organic carbon as electron donor (methanol was used in this case)⁷⁸.

As an alternative way, anaerobic oxidation of NH_4^+ can be used for biodegradation of nitrogen without organic carbon served as an electron donor. Autotrophic anaerobic bacteria oxidize $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (electron donor) to N_2 , where $\text{NO}_2^-\text{-N}$ is an electron acceptor⁷⁹. There are remaining macroelements in the liquid after removal of surplus nitrogen. The most effective method for preconcentration of these nutrients is a membrane filtration^{73, 80}. The concentrate is usable as a high nutrition fertilizer. Another option is to use reverse osmosis^{73, 76, 81, 82}.

Next very important indicator of the quality of digestate is the chemical oxygen demand (COD). COD helps us to specify the amount of organic components in the digestate. Organic substances are decomposed during anaerobic fermentation. If the COD parameter is very low at the end of the fermentation process, it means that gasification run with a high efficiency. To reduce the COD in the digestate, Gong, Li and Liang (2010) suggested applying consecutive aerobic fermentation of the digestate. Digestate is pumped from the anaerobic digester to an aerobic digester where it is fermented again. This fermentor is equipped by a membrane module for the removal of NH_4^+ and PO_4^{3-} ions from the fermented digestate. After 120 days of total fermentation process (anaerobic-aerobic-membrane fermentation), the amount of NH_4^+ ion is reduced to 1.9 %, the amount of PO_4^{3-} to 23.4 %, and chemical oxygen demand decreased to 3.7 % of total amount. The modified digestate can be applied to agricultural land in large quantities, because there is no problem with transcending the limits of nutrients⁸³.

Detailed comparison of various methods for treatment of digestate is described by Rehl and Müller (2011)⁷¹. Especially composting process deserves a proper attention and it is commented here in more details. The process can be in principle divided into three parts – mechanical pretreatment, composting and treatment of the solid rest. Mechanical pretreatment uses flocculation with polyacrylamide and a centrifugal force is applied for separation of liquid and solid parts. Separation to liquid-solid parts is commonly used as a physical pre-treatment of animal waste. The liquid phase is used as liquid fertilizer. However, if the liquid fraction is low in nutrients, the target area would not be fully supplied with macroelements. Increasing the amount of sprayed liquid fraction could be a solution to this but the concentration of unwanted microelements and compounds could then increase above their emission standard. Solid phase is stored for 10 weeks in closed system assigned for composting. Solid matter is aerated by stirring. After the termination of the composting process, the material can be transported in open boxes to the field or to the warehouse^{84 – 88}.

In some cases, the digestate contains large amount of ammonia which is released to atmosphere. This represents an environmental problem since ammonia belongs to greenhouse gases, negatively affecting atmosphere. A possible solution to reduce the level of ammonia in the digestate is suggested by Maurer and Müller (2012)⁷⁰. Their technology combines classical glasshouse and solar heater which heats the digestate from biogas station (hybrid waste-heat/solar dryer). In the glass house a conversion of NH_3 to N_2 due to sunlight occurs. The process of reducing ammonia was monitored by Fourier transform infrared spectrometry. The final dried digestate contained around 35% of water and minimum of ammonia and can be directly apply on the field or transport to the place of need^{89, 90}. Another method is based on separation mixture on solid and liquid part using a decanter. The solid component is immediately used as a fertilizer after separation. The liquid phase is then heated, and when liquid starts

boiling, a hot sulphuric acid is added to remove CO_2 and reduce pH (final pH ranges from 4.4 to 4.8). The acidified liquid containing NH_4^+ cation can be then used as fertilizer. The negative effect of this method is significant emission of carbon dioxide representing important component of greenhouse gas⁷¹. Czech biogas station in Plevnice is using a combination of mentioned method for reduction of the amount of ammonia. Briefly, the digestate is separated into solid and liquid part using centrifugation and then is liquid part distilled for removing of ammonia and arising ammonia is absorbed in CO_3 solution. Liquid and solid part is used as fertilizer.

Interesting idea for the use of digestate is described in a paper of Kratzeisen et al. (2010)⁹¹. Authors mention utilization of the digestate as a fuel in the form of pellets. However, the process of combustion as already mentioned is strongly influenced by the quality of input mixture (presence of heavy metals, hardly degradable organic substances etc.). The necessity of appropriate analytical control before and during the production of pellets is obvious. Authors analysed heavy metals in digestate using two techniques with inductively coupled plasma: ICP-OES for potassium and ICP-MS for As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn. These two methods are recommended by German National Norm DIN 38406-22⁹² and Norm DIN 38406-29⁹³. Two digestates were studied: digestate 1. contained 50 % of maize silage, 40 % of grass and grass silage and 10% of potatoes. Digestate 2. contained of 81 % of maize silage, 9 % of sugar sorghum, 7% of poultry manure and 3 % of corn cob mix. The concentration of As, Pb, Cd, Hg, Tl in the ash was under threshold value. In digestate 2 the content of Ni was 3.5 time higher (285 mg.kg^{-1}) than threshold value defined by German National Norms. The concentration of Cr also exceeded appropriate threshold value in both digestates (76 mg.kg^{-1} for digestate 1; 184 mg.kg^{-1} for digestate 2)⁹¹. Another way for determination of composition of ash from pellets is X-ray fluorescence (XRF). Hirokawa et al. (2013)⁹⁴ compared AAS and XRF for analysis of 5 metals (Co, Ni, Pd, Ag, Au). These methods were compared using a sample of ash enriched with standards of the above metals. The X-ray fluorescence shows greater results of those metals except cobalt than AAS. Those differences were due to their incomplete decomposition using aqua regia⁹⁴. Note, the production of pellets from digestate in Czech Republic is only fractional that up to now and its progress (including technology) is question of future development.

5. Conclusion

Production of biogas is fast-growing branch allowing efficient and ecological waste treatment and production of a relatively cheap energy. This mini-review covers various aspects of biogas plants operation including feedstock control and adjustment, description of processes in reactor and ways to optimize gas production. Main attention is paid to the process of digestate formation, analytical control of its composition, possibilities of its treatment and safe use. Although digestate is routinely characterized by non-specific parameters and content of macro-components is relatively well known, many processes remained unresolved and hopefully they become subject of systematic research.

Acknowledgements

Authors thank to Operational Program Research and Development for Innovations – European Social Fund [project CZ.1.05/2.1.00/03.0058], Operational Program Education for Competitiveness – European Social Fund [project CZ.1.07/2.2.00/28.0029] and Palacky University Olomouc [project IGA_PrF_2014031] for financial support.

References

1. Meynell, P.-J., *Methane: Planning a Digester*. Schocken Books, New York 1976.
2. McCabe, J.; Eckenfelder, W., *Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes*. Reinhold Publishing. New York (1957).
3. Challenger, F. et. al, J. Chem. Soc., 95 – 101, (1933).
4. Bryant, M.P. Methane-Producing Bacteria (part 13) Bergey's Manual of determinative Bacteriology. 8 ed., The Williams and Wilkins Co., Baltimore, USA (1974).
5. Kára, J., Pastorek, Z. and Příbyl, E., *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. VÚZT, v.v.i., Praha-Ruzyně (2007).
6. Dohanyos M., *Principy tvorby bioplynu na skládce a v bioplynových stanicích – teoretické základy anaerobní fermentace*, in: Konference bioplyn a bioplynových stanice, GAS s.r.o. – EKOLOGIE spol. s.r.o., Praha (2008).
7. Pospíšil, L., *Výzkum „suché“ anaerobní fermentace různých druhů biomasy za účelem výroby bioplynu*. [online] Biom.cz: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyzkum-suche-anaerobni-fermentace-ruznych-druhu-biomasy-za-ucelem-vyroby-bioplynu> (2014-04-10).
8. Archer, D.B., Robertson, J.A., and Peck, M.W. *The Microbiology and Biochemistry of Biogas Production from Solid Wastes*, in Landfill Gas and Anaerobic Digestion of Solid Waste, Harwell Lab., Oxfordshire, (1988).
9. Archer, D.B. and Peck, M.W., Microbiol. Extr. Environ. Pot. for Biotech., 49, 187 – 204, (1989).
10. Li, Y.B., Park, S.Y. and Zhu, J.Y. Renewable Energy Environ. Sustainable Dev., 15(1), 821 – 826, (2011).
11. Archer, D.B. and Kirsop, B.H. The Microbiology and control of anaerobic digestion, in A Waste Treatment Technology, E.A. Sci., Editor. pp. 43 – 92, London (1990).
12. Balch, W.E., Fox, G.E., et. al., Microbiol. Rev., 43(2), 260 – 296, (1979).
13. Touzel, J. P., Prensier, G. et al., Int. J. Syst. Bacteriol. 38(1), 30 – 36, (1988).
14. Heinedobbernack, E., Schoberth, S. M. et al., Appl. Environ. Microbiol., 54(2), 454 – 459, (1988).
15. Straka, F., a kol, *BIOPLYN příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů*. 2. ed., GAS, Praha (2006).
16. Guiot, S.R., Cimpioia, R. and Carayon, G., Environ. Sci. Technol., 45(5), 2006 – 2012, (2011).
17. Sukahan, Product Biogas yield catalyst ZH1001 methanogenic bacteria, www.sukahan.en.alibaba.com
18. Baktoma, Product APD Bio Gas: www.baktoma.cz
19. Babicka, L., et al. Listy Cukrov. Reparske, 126(3), 106 – 109, (2010)
20. Notice 482/2005 Sb. from date 21. December 2006 about determination of the types and the use of biomass for electricity generation, Czech Republic: www.eagri.cz
21. Notice 5/2007 Sb. from date 2. December 2005 about determination of the types and the use of biomass for electricity generation, Czech Republic: www.eagri.cz
22. Notice 477/2012 Sb. from date 20. December 2012 about determination of the types and the use of biomass for electricity, heat and biomethan generation, Czech Republic: www.eagri.cz
23. Švec, J., and Nelibová, B. *Právní předpisy vztahující se k výstavbě a provozu BPS*. in sborník příspěvků: Využití obnovitelných zdrojů energie v zemědělství, zemědělské bioplynové stanice 2010, Chrudim (2010).
24. Babicka, L. and Poustková, I., Listy Cukrov. Reparske, 125(9 – 10), 277 – 280, (2009).
25. Habart, J., *V čem se liší zemědělská a komunální bioplynová stanice – zamyšlení u příležitosti otevření bioplynové stanice v Krásné Hoře a Vysokém Mýtě*. [online] Biom.cz: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/v-čem-se-lisi-zemedelska-a-komunalni-bioplynova-stanice-zamysleni-u-prilezitosti-otevreni-bioplynove-stanice-v-krasne-hore> (December 4, 2012).
26. Dvořáček, T., et al. *Výstavba komunálních bioplynových stanic s využitím BRKO*, Státní fond životního prostředí ČR, Praha (2009).
27. Notice 1774/2002 from date 3.October 2002 about laying down health rules concerning animal by-products not intended for human consumption, European Union: <http://eur-lex.europa.eu>
28. CZBA – Czech biogas association, <http://www.czba.cz/>. (June 30, 2012)

29. ERU (2011) The substantiation of the proposed changes to the draft of pricing decision of the Energy Regulatory Office, for support of electricity from renewable energy sources, combined heat and power production and secondary energy sources for year 2012. <http://www.eru.cz/> (January 17, 2012).
30. Notice 1999/31/EC from date 26.April 1999 the landfill of waste, European Union: <http://eur-lex.europa.eu>
31. Hřebíček, J., Hejč, M., Pilar, F. and Zhylytova, J., Nakládání s biologicky rozložitelným odpadem v ČR pro zabezpečení plnění cílů Směrnice Rady 1999/31 ES z 26. dubna 1999 o skládkách odpadů. DEKONT INTERNATIONAL, s.r.o., Brno (2007).
32. Váňa, J. *Využití digestátů jako organického hnojiva*. [online] Biom.cz: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-digestatu-jako-organickeho-hnojiva> (December 04, 2012)
33. Smatanová, M., Zemědělec, XX(18), 21 – 22, (2012).
34. Váňa, J., Usták S., *Využití odpadů a surovin ze zemědělského provozu k výrobě bioplynu*, in. Sborník příspěvků: Využití obnovitelných zdrojů energie v zemědělství, zemědělské bioplynové stanice. 2010, Chrudim (2010).
35. Kratochvílová Z., et al., *Průvodce výrobou a využitím bioplynu*, CZ Biom – České sdružení pro biomasu, Praha (2009).
36. Puyuelo, B., et al., Chemosphere, 85(4), 653 – 659, (2011).
37. Kimbrough, D.E. and Wakakuwa, J., Analyst, 119(3), 383 – 388, (1994).
38. Rees, J.F., J. Chem. Tech. and Biotech., 30(4), 161 – 175, (1980).
39. Bičáková, O. and Straka, P. Int. J. Hydrogen Energy, 37(16), 11563 – 11578, (2012).
40. Bertin, L., et al., J. Hazardous Mat., 186(2-3), 2060 – 2067, (2011).
41. Christiansen, N., et al., Water Sci. Technol., 31(1), 249 – 259, (1995).
42. Gostelow, P., et.al., Sci. Tech. Rep. No.17, IWA Publ. London (2003).
43. Hobbs, P.J., et.al., J. Agricultural Eng. Res. 72, 291 – 298, (1999).
44. Walker, J.C., The performance of the human nose in odour measurement. Proc. 1st IWA Int. Conf. on Odour and VOC's measurement, regulation and control techniques. Univ. NSW Sydney Australia, 25. – 28.3., (2001).
45. CZ Biom, Odborné stanovisko sekce Bioplyn k problematice zápachu z bioplynových stanic. [online] Biom.cz: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/odborne-stanovisko-sekce-bioplyn-k-problematice-zapachu-z-bioplynovych-stanic>, (August 20, 2014)
46. Kim, K. H. and Kim D., Microchem. J., 91(1), 16 – 20, (2009).
47. Trabue, S., Kerr, B., et al., J. Environ. Qual., 40(5), 1510 – 1520, (2011).
48. Kim, K. H., Anthwal, A. et al., Microchim. Acta, 170(1-2), 83 – 90, (2010).
49. Parker, D.B., Perschbacher-Buser, Z.L., Cole, N.A. and Koziel, J.A., Sensors.10(9), 8536 – 8552, (2010).
50. Tsao, Y.-C., et al., Sci. Total. Enviro., 409(17), 3158 – 3165, (2011).
51. Senante, E., Martel, J.L. and Bruchet, A. Environ. Odour Manag., 1850, 83 – 90, (2004).
52. Akdeniz, N., Jacobson, L. D., et al., Trans. Asabe, 55(6), 2347 – 2356, (2012).
53. Norm EN ISO 15586 from date 1.August 2004 about water quality – Determination of trace elements using atomic absorption spectrometry with graphite furnace, www.iso.org
54. Norm EN ISO 5961 from date 1.February 1996 about water quality – Determination of cadmium by atomic absorption spectrometry: www.iso.org
55. Norm EN ISO 8288 from date 1.February 1995 about water quality – Determination of cobalt, nickel, zinc, cadmium and lead. Flame atomic absorption spectrometric methods: www.iso.org
56. Norm EN 1233 from date 1.November 1997 about water quality – Determination of chromium – Atomic absorption spectrometric methods, European Union: <http://eur-lex.europa.eu>
57. Norm ČSN 757440 from date 1.April 2009 about water quality – Determination of total mercury by thermal decomposition, amalgamation and atomic absorption spectrometry, Czech Republic: <http://csnonline.unmz.cz>
58. Norm ČSN 757509 from date 1.May 2008 about Water quality – Determination of grease and oils in waste water – Gravimetric method following sample evaporation, Czech Republic: <http://csnonline.unmz.cz>

59. Teixeira, A.G.V., et al., *J. Dairy Sci.*, 93(8), 3628 – 3634, (2010).
60. Cunha de, L.F.C., et al., *Semina-Ciencias Agrarias*, 30(2), 435 – 440, (2009).
61. Chen, G.Y., et al., *Waste Manag.*, 30(10), 1834 – 1840, (2010).
62. Yasir, M., et al., *Biores. Technol.*, 100(19): p. 4396 – 4403, (2009).
63. Sidhu, J.P.S. and Toze, S.G., *Environment Intern.*, 35(1), 187 – 201, (2009).
64. Estrada, I.B., et al. *Biores. Technol.*, 93(2), 191 – 198, (2004).
65. Johansson, M., et al., *Grass Forage Sci.*, 60(2), 175 – 185, (2005).
66. Havlíček, V., Lemr, K. et al., *Current Trends in Microbial Diagnostics Based on Mass Spectrometry. Anal. Chem.*, 85(2), 790 – 797, (2012).
67. Law 9/2009 Sb. from date 12. December 2008 about Fertilizers, Czech Republic: www.eagri.cz
68. Regulation 834/2007 from date 28.June 2007 about organic production and labelling of organic products and repealing, European Union: <http://eur-lex.europa.eu>
69. Directive 91/676/EC from date 12.December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources, European Union: <http://eur-lex.europa.eu>
70. Maurer, C. and Muller, J., *Eng. Life Sci.*, 12(3), 321 – 326, (2012).
71. Rehl, T. and Muller, J., *Resour., Conserv. Recycl.*, 56(1), 92 – 104, (2011).
72. Bačík, O. *Komunální bioplynová stanice u Passau v Bavorsku*. [online] [Biom.cz](http://biom.cz): <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/komunalni-bioplynova-stanice-u-passau-v-bavorsku> (December 7, 2012)
73. Masse, L., Masse, D.I. and Pellerin, Y., *Biosys. Eng.*, 98(4), 371 – 380, (2007).
74. Thorneby, L., Persson, K. and Tragardh, G., *J. Agricul. Eng. Res.*, 73(2), 159 – 170, (1999).
75. Vaneekhaute, C., et al., *Water, Air, Soil Pollut.*, 223(4), 1593 – 1603, (2012).
76. Mihoubi, D., *Desalination*, 167(1-3), 135 – 139, (2004).
77. Hjorth, M., et al., *Agron. Sustainable Dev.*, 30(1), 153 – 180, (2010).
78. Henze, M., et al. *Wastewater treatment: biological and chemical processes*. Springer, Berlin, (2002).
79. Vandegraaf, A.A., et al., *Appl. Environ. Microbiol.*, 61(4), 1246 – 1251, (1995).
80. Kertesz, S., et al. *Desalin. Water Treat.*, 14(1-3), 233 – 238, (2010).
81. Kucera, J. *Reverse Osmosis: Design, Processes, and Applications for Engineers*. Wiley-Scrivener, Hoboken, New Jersey, (2012).
82. Roeper, H., et al., Integrated concept for decentralized wastewater and biowaste treatment – Experiences at the pilot plant stage., in *Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium 2007*, CISA Publisher, Italy, (2007).
83. Gong, W.J., Li, W.Z. and Liang, H., *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 85(10), 1334 – 1339, (2010).
84. Tiquia, S.M., Richard, T.L. and Honeyman, M.S., *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 62(1), 15 – 24, (2002).
85. Amlinger, F., Peyr, S. and Cuhls, C., *Waste Manag. Res.*, 26(1), 47 – 60, (2008).
86. Clift, R., Doig, A. and Finnveden, G., *Process Saf. Environ. Prot.*, 78(B4), 279 – 287, (2000).
87. Ekval, T. and Finnveden, G., *Process Saf. Environ. Prot.*, 78(B4), 288 – 294, (2000).
88. Fricke, K., Santen, H. and Wallmann, R., *Waste Manag.*, 25(8), 799 – 810, (2005).
89. Vaxelaire, J., et al. *Water Res.*, 34(17), 4318 – 4323, (2000).
90. Seginer, I., Ioslovich, I. and Bux, M. *Drying Technol.*, 25(1-3), 401 – 415, (2007).
91. Kratzeisen, M., et al. *Fuel*, 89(9), 2544 – 2548, (2010).
92. Norm DIN 38406-22 from date May 1988: German standard methods for the examination of water, waste water and sludge; cations (group E); determination of Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, V, W, Zn and Zr by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, Germany: <http://www.beuth.de>
93. Norm DIN 38406-29 from date May 1999 German standard methods for the examination of water, waste water and sludge – Cations (group E) – Part 29: Determination of 61 elements by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), Germany: <http://www.beuth.de>
94. Hirokawa, Y., Shibata, Y. et al. *X-Ray Spectrom.* 42(3), 134 – 140, (2013).

Bioplynový systém a možnosti kontroly a využití digestátu v České republice: Review

Lukáš KUČERA, Petr BEDNÁŘ *

Regionální centrum pokročilých technologií, Katedra analytické chemie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 17.listopadu 12, 779 00, Olomouc, Česká republika; e-mail: petr.bednar@upol.cz

Souhrn

Anaerobní fermentace je jednou z vhodných metod pro zpracování ekologického odpadu za současné produkce levné elektrické a termální energie. Podle současné legislativy můžeme bioplynové stanice (BPS) rozdělit na tři základní skupiny – zemědělské, odpadové a průmyslové. Zemědělské bioplynové stanice patří k nejrozšířenějším v České republice z důvodů jejich umístění v blízkosti velkochovů zemědělských zvířat (převážně chov skotu a vepřů). Další z důvodů tak velkého rozšíření zemědělských BPS je vyšší výkupní cena energie ve srovnání s odpadovými bioplynovými stanicemi.

V budoucnu můžeme očekávat srovnání tohoto cenového rozdílu v souvislosti s plánovanou výstavbou odpadových bioplynových stanic, aby došlo k naplnění nové evropské směrnice 1999/31EC, podle níž musí dojít ke snížení vývozu biologicky rozložitelného odpadu na skládky do roku 2020 na 35 %. Je tedy nutné hledat nové postupy ke zpracovávání tohoto druhu odpadu a odpadové bioplynové stanice jsou jednou z možností. S tímto nárůstem odpadových BPS můžeme očekávat vyšší produkci digestátu.

V současnosti je analýza digestátu zaměřena pouze na základní parametry, jako je celkový uhlík, chemická spotřeba kyslíku, obsah N, P, K, Ca, Mg, S a sušiny a obsah některých těžkých kovů (Cd, Pb, Hg, As, Cr, Ni, Cu, Zn, Fe, Mn), které jsou důležité pro jeho použití jako hnojiva či paliva v podobě pelet. Anaerobní fermentací odpadu může docházet k obohacování digestátu látkami, které mohou být polutanty životního prostředí. Bylo by tedy vhodné rozšířit kontrolu digestátu o např. pesticidy, polychlorované bifenylly, herbicidy a fungicidy.

Tento přehledový článek si klade za cíl popsat postupy využití a analytické kontroly digestátu s ohledem na historii a současnost bioplynových stanic v České republice a v kontextu právních předpisů Evropské Unie.

Klíčová slova: bioplynový systém, digestát, fermentace, anaerobní, methanogenní bakterie, kontrola digestátu, použití digestátu

Odpad z výroby minerální vlny a možnosti jeho využití do betonové směsi

Ivana CHROMKOVÁ, Pavel LEBER, Oldřich SVITÁK

Výzkumný ústav stavebních hmot, a. s., Hněvkovského 65, 617 00 Brno,
e-mail: chromkova@vustah.cz, leber@vustah.cz, svitak@vustah.cz

Souhrn

Příspěvek přináší informace o dosavadním průběhu výzkumu použitelnosti odpadů z technologie výroby minerální vlny do běžně vyráběných stavebních materiálů. Článek je zaměřen na aplikaci odpadu do zavhlé betonové směsi a na výrobu tenkostěnných betonových výrobků.

Klíčová slova: odpad z výroby, minerální vlákno, granálie, betonové vibrolisované tvarovky

Úvod

S ohledem na environmentálně udržitelný rozvoj je využívání odpadů vznikajících v různých odvětvích průmyslu tématem, kterému je třeba věnovat pozornost. V České republice vyrábí minerální izolační materiál na bázi kamenné vlny 3 producenti a v okolních státech působí dalších 5 výrobců. Je tedy patrné, že množství odpadů z jejich výroby není malé, a proto je třeba ověřit možnosti jejich dalšího využití.

Výroba minerální vlny a vznik odpadů

Základní surovinou pro výrobu minerální izolační vlny jsou vyvěřelé horniny – nejčastěji čedič, jako přísada se používá vysokopeční struska. Surovinová směs se taví v kupolové peci. Teplota tavení je 1350 – 1450 °C. Roztavená hornina vytéká nebo je vstřikovávána na rozvlákňovací stroje (tj. roztočený buben, z něhož odlétávají kapky). Ty se rychlostí protáhnou a zchladnou (vlákna mají průměr pouhých 6 – 10 µm). Pro dosažení vlastností charakteristických pro izolační deskové materiály, tj. tvarové stability a mechanických vlastností (pevnost, pružnost), jsou vlákna v dalších fázích výroby vázána pojivem – 1 až 3% vodným roztokem fenol-formaldehydové pryskyřice.

Takto ošetřená vlákna jsou „navrstvena“ na pás a dále dochází k procesu vytvrzování – zpevnění v „peci“ (resp. vytvrzovací komoře) působením horkého vzduchu. Po vychlazení vytvrzeného pásu minerální vlny probíhá na dělicí lince řezání na díly požadovaných rozměrů, příp. k dalším speciálním úpravám finálního produktu.

Ačkoli je u všech výrobců patrný trend nastavit svou výrobu jako bezodpadovou, vzniká v průběhu výroby minerální vlny značné množství odpadu. Podle místa vzniku odpadu v procesu výroby ho můžeme rozdělit¹ na:

- Odpady vzniklé v prostoru kupolové pece:
 - při poruše na lince s následným krátkodobým zastavením provozu linky dochází k vypouštění lávy do prostoru pod pecemi,
 - při ukončení provozu kupolové pece při odstávce,
 - při odpichách železa – provádějí se z důvodu nahromadění železa na dně kupolové pece (tavením vsázky v kupolové peci se z oxidů železa, které jsou v různých koncentracích obsaženy ve vstupních surovinách, redukuje železo, a to je nutné pravidelně ze dna pece vypustit).
- Odpady vznikající při fázi rozvlákňování před vytvrzením (tzv. před pecí):
 - granálie – nerozvlákněné částice lávy,
 - shluky vláken nasycené pojivem, které nebyly přisáty na unášecí pás v usazovací komoře,
 - shluky vláken oddělené při čištění unášecího pásu.

▪ Odpady vznikající po vytvrzení (tzv. za pecí):

- nekvalitní finální výrobek,
- boční ořezy vznikající v řezací stanici.

Odpadní produkt z některých fází výroby lze přímo ve výrobě upravit smísením s cementem a lisováním pod tlakem do forem. Takto vzniklé brikety jsou opětovně využity jako vstupní surovina do tavicí pece². Odpad z jiných míst výrobní linky se však takto využít nedá. Jde jednak o odpad po ořezání minerální rohože po vytvrzení v peci, ale též o materiál, který odpadá v procesu rozvlákňování.

Experimentální část

Charakteristika odpadu

Do laboratoří Výzkumného ústavu stavebních hmot, a. s. byly dodány vzorky odpadního produktu z výroby minerální vlny. Jednalo se jednak o odřezky z minerální rohože po jejím vytvrzení a současně o odpadní materiál vzniklý v procesu výroby před vstupem do vytvrzovací komory, tj. nestejnorodé chomáče minerální vlny (různé velikosti, tvarů, propojení) znečištěné granáliemi.



Obrázek 1: Znečištěné chomáče odpadní minerální vlny s granáliemi

Laboratorními úpravami byly vzorky minerální vlny rozplaveny a granálie odseparovány. Minerální vlna i granálie byly jako vstupní materiál při laboratorních zkouškách a experimentech ověřovány odděleně.

Upravená odpadní minerální vlna i granálie jsou znázorněny na **obrázcích 2 a 3**.



Obrázek 2: Přečištěná vlna



Obrázek 3: Odseparované granálie

Takto oddělené složky odpadního produktu byly analyzovány ve specializovaných laboratořích. Vybrané výsledky z provedené vstupní analýzy jsou uvedeny v **tabulce 1**.

Tabulka 1: Vstupní analýza odpadního materiálu

Sledovaný parametr	Stanovení škodlivých látek*		Ekotoxikita*	Radioaktivita	Sypná hmotnost	Objemová hmotnost
	ve výluhu	v sušině			(kg.m ⁻³)	(kg.m ⁻³)
Minerální vlna	Splňuje	Překročení limitních hodnot As, Cd, Cr	Vyhovuje	Vyhovuje	-	92
Granálie	Limit I (inertní)		Vyhovuje	Vyhovuje	1200 – 1600	2000

Poznámka: * Stanoveno dle vyhlášky č. 294/2005

Z výsledků chemických analýz vyplývá, že je použití odpadního materiálu z výroby minerální vlny do stavebních hmot možné. Množství přídavku do hmoty je třeba zohlednit vzhledem k výsledkům zkoušky obsahu škodlivých látek v sušině, a to z důvodu překročení limitních hodnot As, Cd a Cr.

Směry ověřování vhodného využití odpadní vlny a granálií

Řešení projektu bylo rozděleno do několika okruhů, které mají ověřit vhodnost využití odpadní vlny a granálií. Jedná se o ověření možnosti využití do stavebních hmot typu:

- Samonivelační směsi;
- Tenkostěnné vláknobetonové prvky;
- Tenkovrstvé betonové tvarovky.

Podle charakteristických vlastností, zjištěných při vstupních technologických zkouškách, byly určeny vhodné způsoby aplikace pro obě složky odpadu:

- Granálie byly vybrány jako vhodný odpadní materiál pro ověřování do stavebních hmot typu samonivelační směsi a tenkostěnné vláknobetonové prvky;
- Přечиštěná minerální vlna byla ověřována při výrobě betonové směsi pro výrobu tenkostěnných tvarovek.

Ověřování možnosti využití odpadu do směsi pro výrobu tenkostěnných tvarovek

Vlákna jsou obecně do betonu přidávána za účelem zvýšení užitných vlastností betonu, především zvýšení pevnosti v tahu a tahu za ohybu, mrazuvzdornosti a trvanlivosti, odolnosti proti nárazu, smykového namáhání, houževnatosti betonu aj. Do konstrukčních betonů jsou běžně používána vlákna ocelová. Skelná vlákna se používají na výrobu tenkostěnných kompozitních materiálů s cementovou matricí. Pro širší používání čedičových vláken do betonu hovoří výsledky výzkumu popsaného například v literatuře^{3,4}.

Pro laboratorní ověřování odpadního produktu z výroby minerální vlny do betonové směsi pro výrobu tenkostěnných betonových tvárnic byly postupně zvoleny dva okruhy řešení, a to:

- První okruh experimentu se zaměřil na použití minerálního vlákna, kdy byl zkoumán jeho přídavek (10 až 100 % objemových) ke srovnávací receptuře betonové směsi.
- Druhý okruh experimentu ověřoval neodseparovaný odpadní materiál z výroby minerální čedičové vlny, který byl použit jako částečná náhrada písku.

První okruh – Využití minerálního vlákna

Byly navrženy receptury betonové směsi s obsahem 10, 25, 50, 75 a 100 % (obj.) čedičového vlákna, které tvořilo objemový přírůstek ke standardní betonové směsi (ve výpočtu dávky byla zohledněna výrazně odlišná objemová hmotnost čedičového vlákna, tj. 90 kg/m³).

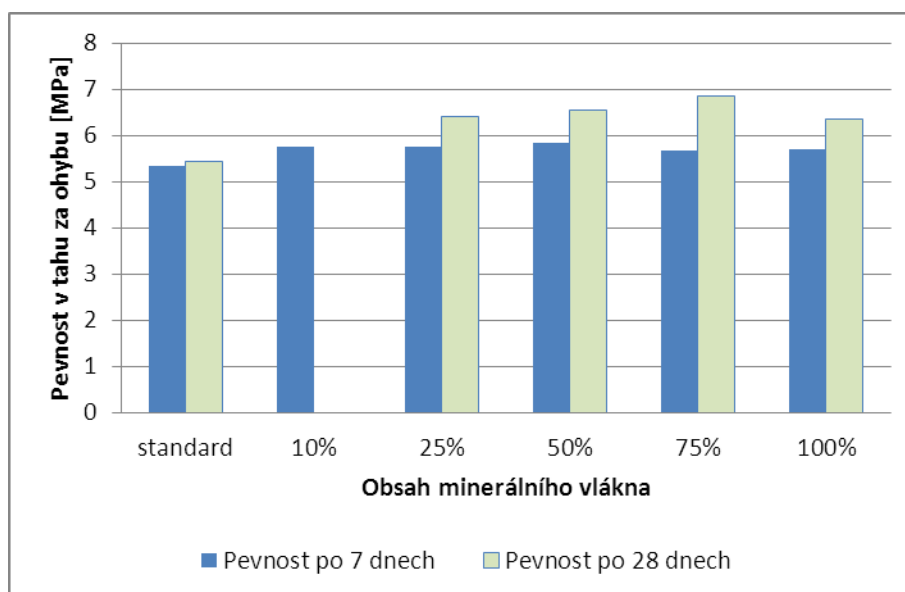
Pro laboratorní zkoušky bylo připraveno šest receptur betonu, které splňovaly požadavky a obecná kritéria pro vibrolisované směsi⁵. Na standardních zkušebních tělesech – krychlích o rozměrech 150×150×150 mm a trámečcích o rozměrech 40×40×160 mm – byly stanoveny hodnoty fyzikálně mechanických vlastností betonové hmoty. Byl sledován vliv přírůstku minerálního vlákna do hmoty na výslednou objemovou hmotnost betonu. Důležitým parametrem pro hodnocení vlivu přírůstku do betonu bylo posouzení pevnosti v tahu za ohybu, pevnost v tlaku a též vliv na kapilární vlastnosti (vlhkost, nasákavost, aj.).

Výsledky zkoušek z prvního okruhu experimentu jsou uvedeny v **tabulce 2**.

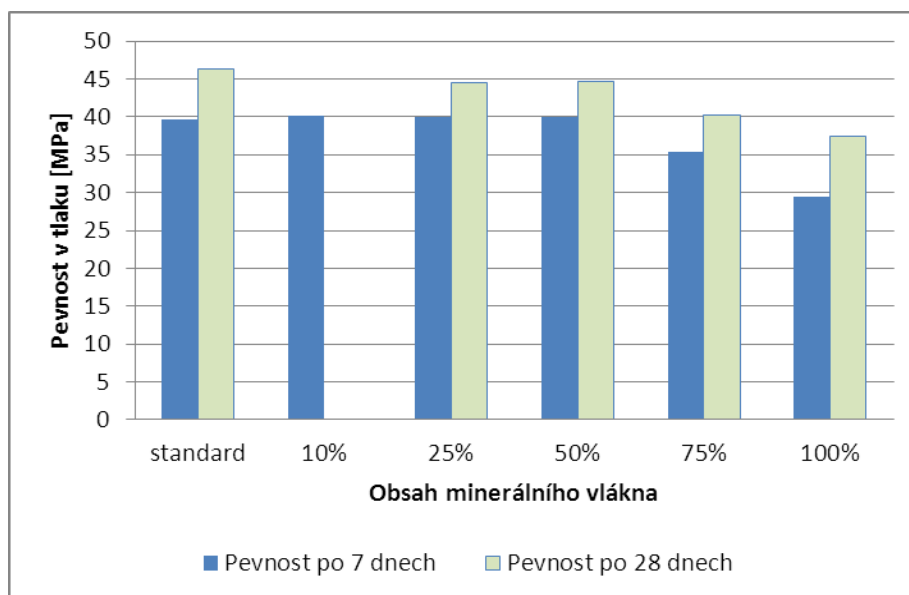
Tabulka 2: Fyzikálně mechanické vlastnosti betonů s minerálním vláknem po 28 dnech zrání

		Vlákno (objemový přírůstek)				
		0%	25%	50%	75%	100%
Objemová hmotnost	kg.m ⁻³	2290	2250	2240	2230	2215
Pevnost v tahu za ohybu	MPa	5,43	6,41	6,54	6,86	6,35
Pevnost v tlaku	MPa	46,31	44,49	44,74	40,15	37,42
Vlhkost	%	3,0	3,08	3,17	3,18	3,24
Nasákavost	%	4,97	5,46	5,51	5,55	5,69
Počáteční nasákavost	g.m ⁻² .s ⁻¹	1,48	1,80	2,13	2,24	2,40

Pevnostní charakteristiky jsou uvedeny v následujících grafech (**graf 1 a 2**).



Graf 1: Pevnost v tahu za ohybu betonu s obsahem minerálního vlákna



Graf 2: Pevnost v tlaku betonu s obsahem minerálního vlákna

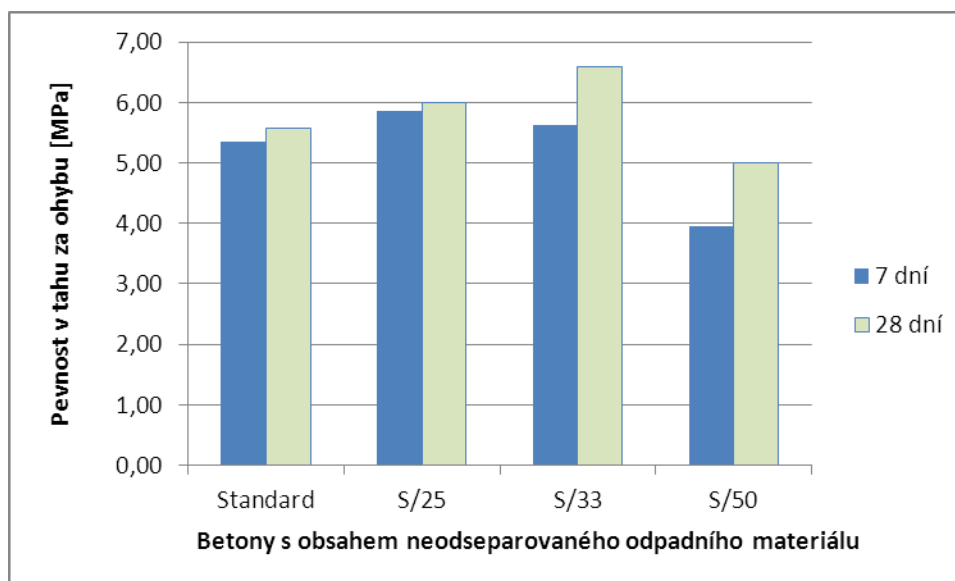
Druhý okruh – Částečná náhrada písku neodseparovaným odpadem (vlna + granálie)

Z výsledků prvního okruhu ověřování, tj. laboratorních zkoušek využití přečištěného minerálního vlákna, byl učiněn závěr, že by bylo vhodné ověřit i neodseparovaný odpadní materiál. V druhém kroku byl proto ověřován vzorek minerální vlny s granáliemi. Byl použit jako částečná náhrada kameniva frakce 0-4. Pro laboratorní ověřování byla zvolena dávka neodseparovaného vzorku minerální vlny jako náhrada 25, 33 a 50 % hmotnostních jemného kameniva. Jak bylo při vstupních laboratorních analýzách zjištěno, granálie vykazovaly objemovou hmotnost 2000 kg.m^{-3} , proto nebylo třeba dávkování přepočítávat na odlišnou objemovou hmotnost (jako tomu bylo v prvním kroku experimentálních prací). Při výpočtu složení betonové směsi byla zohledněna skutečnost, že neodseparovaný vzorek sestává z 60 % granálií a 40 % vlákna. Výpočet skladby BS byl proveden tak, že granálie plnily funkci náhrady jemného kameniva, kdežto vlákno, obsažené ve vzorku, již tvořilo přídavek k definovanému množství standardní hmoty.

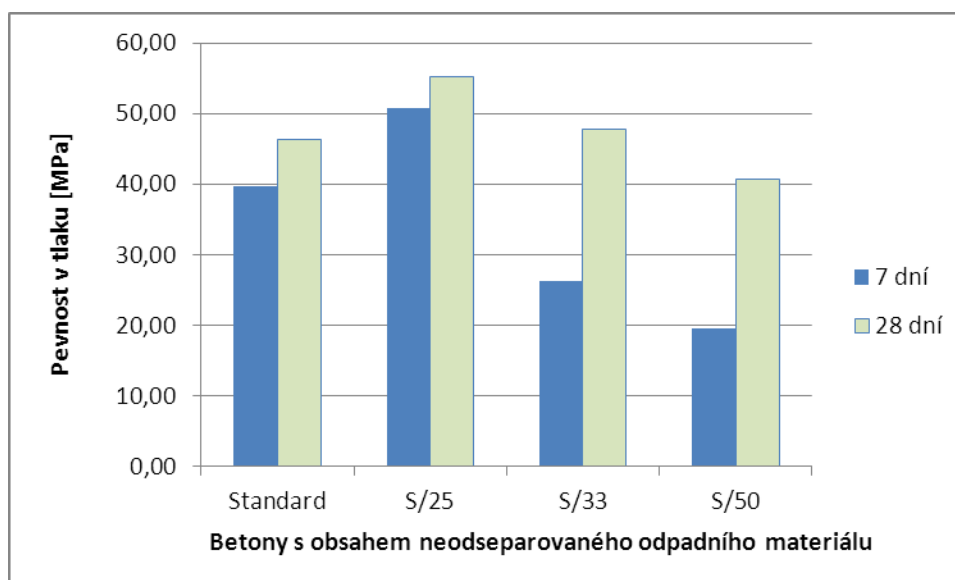
Tabulka 3: Fyzikálně mechanické vlastnosti betonů s neodseparovaným minerálním odpadem po 28 dnech zrání

		0%	25%	33%	50%
Objemová hmotnost	kg.m^{-3}	2320	2280	2195	2150
Pevnost v tahu za ohybu	MPa	5,58	6,00	6,58	5,00
Pevnost v tlaku	MPa	46,30	55,25	47,78	40,75
Nasákavost	%	4,97	5,54	6,13	7,97

Výsledné hodnoty pevnostních charakteristik jsou zpracovány v následujících grafech (**graf 3 a 4**).



Graf 3: Pevnost v tahu za ohybu betonu s neodseparovaným odpadem



Graf 4: Pevnost v tlaku betonu s neodseparovaným odpadem

Závěry

Z dosavadních výsledků laboratorního ověřování lze konstatovat, že využití odpadu z výroby minerálních vláken pro vibrolisované výrobky je možné. Ve smyslu udržitelného rozvoje a s ním spojené nutnosti využívání odpadů z výroby je to i žádoucí.

V prvním kroku experimentální části řešení projektu tvořilo minerální vlákno přídavek ke standardní směsi. Přídavek činil 10, 25, 50, 75 a 100 % objemových. Přidáním minerálního vlákna do ověřované betonové směsi nedošlo k zásadnímu ovlivnění fyzikálně mechanických vlastností. Se vzrůstajícím obsahem vlákna ve hmotě došlo ke zvýšení pevnosti v tahu za ohybu betonu, k mírnému poklesu objemové hmotnosti a současně k nárůstu počáteční nasákavosti betonu. Ve srovnání se standardním betonem vykazovaly nejlepší hodnoty pevnosti v tlaku zkušební vzorky s obsahem 25 a 50 % obj. minerálního vlákna.

V druhém kroku byl ověřován vzorek minerální vlny s granáliemi (neodseparovaný odpad), a to jako částečná náhrada kameniva frakce 0-4. Byla zvolena náhrada 25, 33 a 50 % hmotnostních. Náhrada granálií za kamenivo se prokázala jako vhodná. Při vzrůstajícím poměru granálie – jemné kamenivo v betonové hmotě došlo ke snížení objemové hmotnosti až o 170 kg.m⁻³. Při 25% náhradě za jemné kamenivo vykazovaly betony po 28 dnech vyšší pevnost v tahu za ohybu i vyšší pevnost v tlaku. Hmota s 33% náhradou jemného kameniva dosáhla nejvyšších pevností v tahu za ohybu po 28 dnech. V případě 50% náhrady došlo k poklesu pevností oproti standardnímu betonu. U tohoto typu betonu byl zaznamenán pomalejší nárůst pevností na počátku procesu zrání. Ačkoli u hmot s obsahem neodseparovaného odpadu z minerální vlny 50 % došlo k poklesu pevností ve srovnání se standardem, vykazovaly tyto hmoty stále pevnosti vyhovující požadavkům na betonové tenkovrstvé tvarovky⁶.

Pokud by byl využíván pro výrobu vibrolisovaných tvarovek netříděný odpadní materiál z výroby minerálního vlákna, mohlo by dojít při úpravě odpadního materiálu (před jeho použitím) k vyloučení energeticky i časově náročného procesu čištění vlny a separace granálií. Tím by bylo dosaženo značných úspor.

Poděkování

Tento článek byl vytvořen za finanční podpory Technologické agentury ČR v rámci řešení projektu TA 02021147 – Výzkum a vývoj optimálních environmentálně šetrných technologií pro nové a progresivní využití tuhých odpadních materiálů z výroby minerální vlny.

Literatura

1. Vacula M., Klvač M., Mildner R., Melichar T.: *Konference zkoušení a jakost ve stavebnictví* (Heřmánek V., ed.), str. 297 – 306. Vysoké učení technické v Brně, Brno 2013.
2. Badalová M., Dobrovolná J.: 5. Odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí. Brno 2003, Sborník přednášek (bez editora), str. 17 – 20. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební VUT v Brně, 2003.
3. Sim J., Park C., Moon D. Y.: Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures. In *Composites Part B: Engineering*. 36 (6-7). 2005. p. 504 – 512.
4. Onlinepubs: IDEA Innovations Deserving Exploratory Analysis, 1997. http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/studies/idea/finalreports/highway/NCHRP025_Final_Report.pdf, staženo 5. listopadu 2009.
5. Hela R.: *Technologie stavebních dílců*, CERM, Brno, 2001
6. ČSN EN 771-3: *Specifikace zdících prvků – Část 3: Betonové tvárnice s hutným nebo pórovitým kamenivem* (listopad 2011).

Waste from mineral wool production and possibilities of its utilization in concrete mixture

Ivana CHROMKOVÁ, Pavel LEBER, Oldřich SVITÁK

Výzkumný ústav stavebních hmot, a. s., Hněvkovského 65, 617 00 Brno,

e-mail: chromkova@vustah.cz, leber@vustah.cz, svitak@vustah.cz

Summary The paper brings information on up to now research on utilization of wastes from mineral wool production to commonly produced building materials. The paper concerns waste application to wet concrete mixture and production of concrete elements.

Keywords: waste from production, mineral fibre, granules, concrete vibro-pressed shaped elements

Český inovační trh má větší šanci obstát v celosvětové konkurenci

Evžen ONDRÁČEK

CEMC ETVCZ (inspekční orgán č. 4055), 28. pluku 25, 101 00 Praha 10,

e-mail: uetv@cemc.cz, www.tretiruka.cz/eu-etv/

Evropská komise již dříve projevila snahu dohnat světové ekonomiky a tentokrát se zdá, že se dala správným směrem. Posvětila projekt Českého ekologického manažerského centra (CEMC), který dává výrobcům, technologiím, inženýrským řešením či službám s významným přínosem pro životní prostředí schopnost konkurovat světu. Základem projektu je metodologie evropského systému ověřování EU ETV (Environmental technology Verification). Komise jde ovšem dále a tak usiluje o vzájemnou uznatelnost výsledků ověření v různých světových regionech.

Jedinou institucí v ČR a Slovensku zabývající se ověřováním technologií je CEMC, které podepsalo smlouvu s Evropskou komisí. Na základě této smlouvy a akreditace Českého institutu pro akreditace (ČIA) má CEMC možnost ověřovat inovativní technologie výrobcům/dodavatelům, kteří mají ambice prorazit na evropský a světový trh. Technologií se zde mimo jiné rozumí také výrobky, inženýrská řešení nebo služby **s významným přínosem pro životní prostředí**. Ve světě jsou průkopníky tohoto způsobu ověřování hlavně v Americe a Kanadě. Pro tuzemské výrobce je však velmi zajímavý fakt, že v oblasti ETV se pohybují některé velmi zajímavé asijské ekonomiky, v jejichž čele stojí Japonsko, Korea, Filipíny a rovněž s ověřováním začíná i Čína.

Stejně jako Evropská komise i CEMC předpokládá, že technologie ověřená nezávislou stranou typu A (dle ISO 17020) je doložitelně daleko více konkurenceschopná a časem se stane nezbytností. CEMC tímto nabízí výjimečnou příležitost pro výrobce, dodavatele a výzkumné týmy, kteří chtějí upozornit na své produkty. Jejich ověřené technologie se prostřednictvím CEMC dostanou do evropské databáze inovativních technologií a současně obdrží marketingově využitelné logo ETV, čímž dosáhnou na globální trh a výrazně se odliší od konkurence.

Každý podnikatel, který jde na trh s novou technologií, vlastně riskuje možný neúspěch. Nezávislé ověření technologie, respektive výsledků projektu nebo tzv. certifikované metodiky snižuje riziko podnikatele a zvyšuje šanci na úspěch. Nezanedbatelné není ani to, že výsledky ověřování mohou být použity k prokázání shody s příslušnými právními předpisy, k podpoře nabídek při zadávání veřejných zakázek, k přesvědčení investorů o skutečné platnosti deklarovaných výkonových parametrů, a v neposlední řadě k zamezení nutnosti opakování demonstrací pro cílové uživatele. Ověření technologie nezávislým subjektem zvyšuje důvěru na obou stranách. Jak u výrobce, tak u zákazníka.

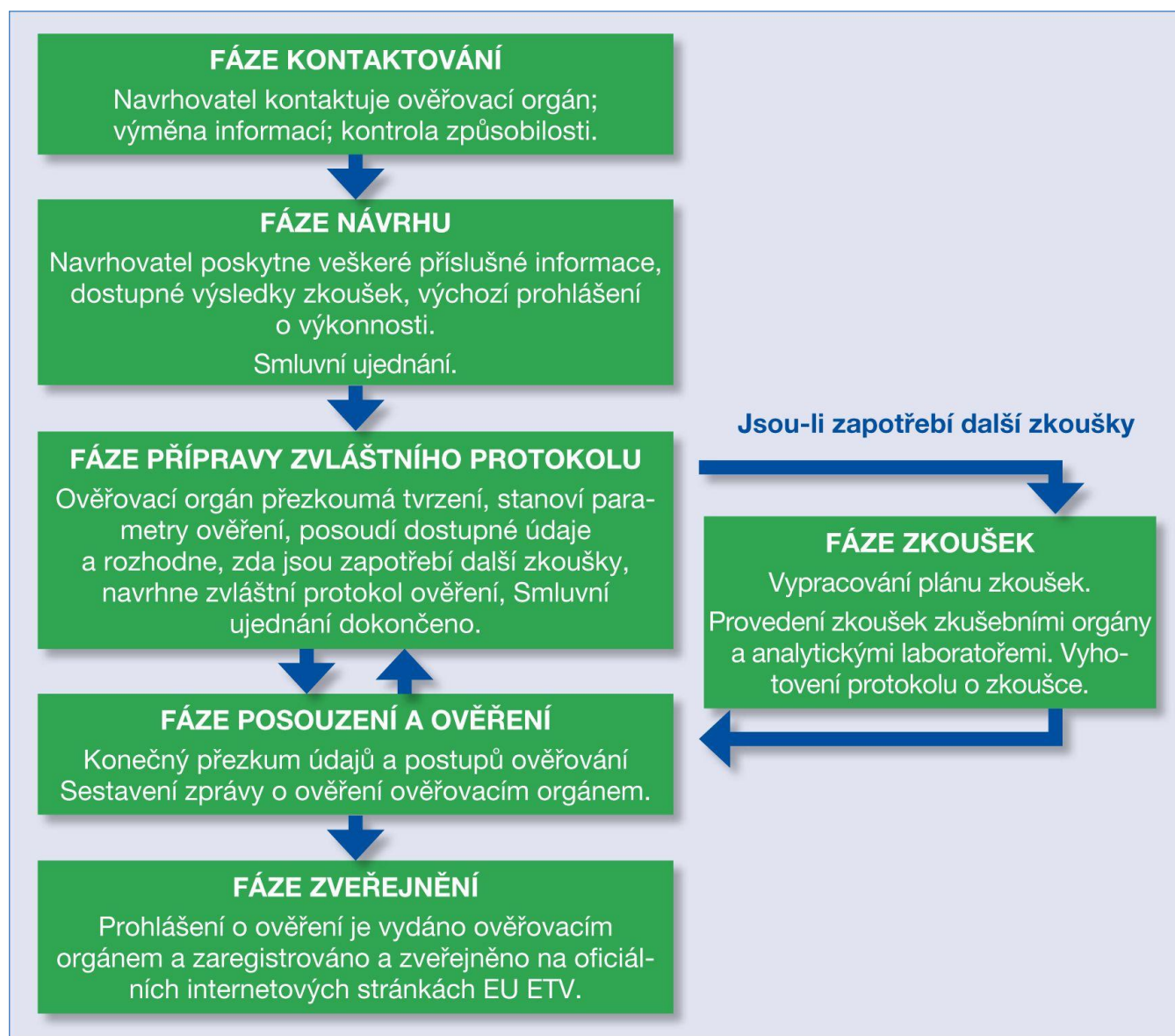
Smlouva s Evropskou komisí zvýhodní prvních 9 zájemců o ověření tím, že 50 % nákladů uhradí EK. Zelenou ověřování technologií dává také Ministerstvo životního prostředí a Technologická agentura ČR, se kterými CEMC aktivně spolupracuje.

Ověřování výsledků projektů VaV

Využití metodologie ETV je velmi zajímavé i v oblasti **ověřování výsledků projektů v oblasti vědy a výzkumu**. Rada vlády pro vědu a výzkum je si vědoma, že výsledky projektů v oblasti VaV, které spolknou ročně 72 mld. korun, nejsou systémově ověřovány. Nezávislé ověření by mimo jiné ukázalo, zda jsou prostředky využívány správným směrem. Věříme, že v tomto ohledu metodologie ETV, která je nedílnou součástí programu Horizont 2020, bude přínosem pro celospolečenskou diskusi na téma efektivnosti vynaložených prostředků na aplikovaný výzkum.

CEMC již v současné době spolupracuje s několika organizacemi, které u projektů financovaných Technologickou agenturou ČR (TA ČR) potřebují ověřit výsledky projektů, včetně tzv. certifikovaných metodik. Z doposud prezentovaných technologií je možné zatím jmenovat: *Kalové hospodářství malých*

čistíren s minimálními nároky na energii a Termická desorpce tuhých materiálů působením mikrovlnného ohřevu (oba společnost Dekonta, a. s.). O dalších domácích projektech budeme informovat v příštích číslech. Pro ukázkou uvádíme i několik projektů z Evropy: Briketovací lis na slámu, trávu a jiné biomasy – Polsko, Bioplynárna potravinového odpadu – Francie, zpracování odpadu prostřednictvím plazmového zplyňování – UK, Výroba surového substrátu pro pěstování jedlých hub z digestátu z bioplynové stanice – Dánsko, Mechanické oddělování kapalných odpadů (kejdry) do pevného a kapalného podílu – Dánsko, Obnova a recyklace amoniaku při zpracování znečištěných odpadních vod – Francie.



Obrázek: Schéma ověřovacího procesu

Inovativními projekty vhodnými pro ověření ETV se každoročně zabývá Týden výzkumu a inovací pro praxi (TVIP). Této problematice bude dáván stále větší prostor na odborném poli a připravovaný další ročník konference TVIP, který proběhne 18. – 20. 3. 2015, nebude výjimkou.

Bližší informace naleznete na stránkách Třetí ruky (<http://www.tretiruka.cz/eu-etv/>).

■

Podpora VaVal v Programu předcházení vzniku odpadů ČR

Ondřej PROCHÁZKA, Evžen ONDRÁČEK

České ekologické manažerské centrum, 28. pluku 25, 101 00 Praha 10

e-mail: tvip@cemc.cz, euetv@cemc.cz

Směrnicí Evropského parlamentu a Rady č. 98/2008 o odpadech bylo členským státům uloženo do 12. prosince 2013 zpracovat PROGRAM PŘEDCHÁZENÍ VZNIKU ODPADŮ ČR. Tento materiál byl k tomuto datu zpracován, projednán ve vládě a zaslán na vědomí Komisi.

Vzhledem k tomu, že se jedná o koncepční materiál, muselo být ještě provedeno posouzení jeho vlivu na životní prostředí (tzv. SEA). To zajistila ČZU v Praze a nyní by jej měla schválit vláda a poté být postoupen do Bruselu.

Program prevence je víceletý koncepční dokument, který si jako hlavní cíl vytkl *Koordinovaným a jednotným přístupem vytvořit podmínky k nižší spotřebě primárních zdrojů a postupnému snižování produkce odpadů*. Tento hlavní cíl je pak rozepsán na 13 dílčích cílů krátkodobého, střednědobého a dlouhodobého charakteru. Pro jejich dosažení je navrženo 26 opatření.

Ze zmíněných 26 navržených opatření se 4 věnují podpoře výzkumu, vývoje a inovací a ty zde ve stručnosti uvádíme. Plný text Programu předcházení vzniku odpadů ČR naleznete [ZDE](#).

BLOK 4: VÝZKUM, EXPERIMENTÁLNÍ VÝVOJ A INOVACE

Opatření č. 23

Podpora programů výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti využívání druhotných surovin při výrobních procesech, zavádění nízkoodpadových technologií a technologií šetřící vstupní suroviny a z oblasti předcházení vzniku odpadů včetně zohlednění ekodesignu a hodnocení životních cyklů.

Opatření č. 24

Zajistit zakotvení a realizaci problematiky předcházení vzniku potravinových odpadů v resortních výzkumech a výzkumných programech. Podpora programů výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti předcházení vzniku odpadů z potravin.

Opatření č. 25

Podpora programů výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti předcházení vzniku odpadů s cílem prodlužovat životnost výrobků, snižovat množství nebezpečných látek v nich obsažených v návaznosti na výrobní směrnice obaly, EEZ, baterie a akumulátory, automobily a snižování spotřeby materiálů při výrobě.

Opatření č. 26

Podpora programů výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti udržitelné výstavby a rekonstrukce budov, snižování nebezpečných látek ve stavebních a konstrukčních materiálech a předcházení vzniku stavebních a demoličních odpadů.

Centrum předcházení vzniku odpadů, které vzniklo při [Českém ekologickém manažerském centru](#), si vytklo za cíl podporovat veškeré aktivity související s předcházením vzniku odpadů. První aktivitou bylo zřízení informační platformy k tomuto tématu na portálu Tretiruka.cz s přímým přístupem www.predchazeniodpadu.cz a organizace [1. národní konference Předcházení vzniku odpadů](#) dne 2. 10. 2014.

Podpořit bychom chtěli i výzkumné projekty související s předcházením vzniku odpadů. Příležitosti jsou hned tři: na [Týdnu výzkumu a inovací pro praxi](#) (18. – 20. 3. 2015, Hustopeče u Brna), při publikování výsledků v elektronickém recenzovaném časopisu [WASTE FORUM](#) a při certifikaci podle metodiky [EU ETV](#), která posuzuje inovativnost posuzované technologie, výrobku, technologického řešení či služby šetřící životní prostředí.

Jaký bude o tuto podporu zájem, se teprve ukáže.

■

Symposium ODPADOVÉ FÓRUM 2015 již v březnu!

Ondřej PROCHÁZKA, programový garant symposia

České ekologické manažerské centrum (CEMC), 28. pluku 25, 101 00 Praha 10
e-mail: prochazka@cemc.cz, www.tretiruka.cz/konference

Jubilejní 10. ročník česko-slovenského symposia Výsledky výzkumu a vývoje pro odpadové hospodářství ODPADOVÉ FÓRUM 2015 se uskuteční ve dnech 18. až 20. března 2015 opět v Hustopečích v hotelu Centro. Jak je v posledních letech pravidlem, bude opět součástí skupiny odborných setkání se společným názvem Týden výzkumu a inovací pro praxi (TVIP). Společně se symposiem se uskuteční tradiční konference APROCHEM. Jejím hlavním zaměřením jsou v posledních letech průmyslová rizika, předcházení haváriím a odstraňování jejich následků.

O co při organizaci symposia zvláště jde a jaký je jeho cíl

Jde o rozšíření kontaktů mezi výzkumnou sférou a praxí a o zprostředkování informací o výsledcích výzkumu pro podnikatelskou sféru a současně o informování výzkumných pracovníků o prakticky potřebných výzkumných tématech, kterými by se výzkum měl zabývat.

Termínový přesun o měsíc dříve z dubna na polovinu března jsme zvolili proto, abychom se vyhnuli termínové kolizi s jinými akcemi, což byl pravidelný problém dubnových termínů symposia. Máme totiž zájem o co nejširší část odborníků, jak z výzkumné oblasti, tak ze strany podnikatelské a veřejné sféry. Záměrem je zprostředkování dialogu mezi oběma stranami. S posunem termínu symposia souvisí i posun důležitých termínů:

Přihlášky příspěvků: 15. 12. 2014

Texty příspěvků do sborníku: 15. 2. 2015

Přihlášky účasti: 28. 2. 2015

Symposium je určeno

- ❑ **k prezentaci výsledků výzkumů** v oblasti nakládání s odpady, prevence vzniku odpadů, sanací ekologických zátěží a dalších souvisejících oborech **formou srozumitelnou a přínosnou široké odborné veřejnosti,**
- ❑ **pro zástupce podnikatelské sféry a veřejné správy,** aby se seznámili s výzkumnými tématy a projekty, na kterých se v ČR a SR pracuje, s cílem eventuálního převzetí nebo rozvinutí dosažených výsledků v praxi, případně k navázání spolupráce s výzkumnými pracovišti,
- ❑ **k seznámení představitelů výzkumné obce s potřebami reálného „odpadářského života“** a případnému navázání spolupráce.

Tématika symposia:

Předcházení vzniku odpadů • Systémové otázky odpadového hospodářství • Nebezpečné odpady • Stavební a minerální odpady • Biodegradabilní odpady • Sanace ekologických zátěží • Materiálové využití odpadů • Energetické využití odpadů • Kapalné odpady a průmyslové odpadní vody • Odpadní plyny a čištění spalin • Využití odpadní energie • Druhotné energetické zdroje.

Zvláště tématice Předcházení vzniku odpadu chceme tentokrát věnovat zvýšenou pozornost v souvislosti s Programem předcházení vzniku odpadů ČR (viz předchozí článek).

Symposium Odpadové fórum 2015 a recenzovaný časopis WASTE FORUM

Vedle toho, že WASTE FORUM je mediálním partnerem symposia a celého Týdne výzkumu a inovací pro praxi, **budou**, podobně jako tomu bylo loni, **příspěvky ze symposia**, které doporučí členové redakční rady, **uveřejněny v tomto recenzovaném časopise a osvobozeny od placení publikačního poplatku.**

Průběžně aktualizované informace k celému TVIP i samotnému symposiu (včetně přihlášky příspěvku) najdete na www.tvip.cz.

■